

17
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN

"CONSTRUCCION DE TERRAPLENES
UTILIZANDO CENIZA VOLANTE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

FRANCISCO MEJIA MEZA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

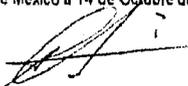
SR. FRANCISCO MEJIA MEZA
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
P R E S E N T E

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 21 de Octubre de 1991 me complace notificarle que esta Jefatura de Programa tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis titulado "CONSTRUCCION DE TERRAPLENES UTILIZANDO CENIZA VOLANTE", que el cual se desarrollara como sigue:

- INTRODUCCION.
- I. GENERALIDADES.
- II. ESTUDIOS GEOTECNICOS.
- III. PROCESO CONSTRUCTIVO
- CONCLUSIONES

Asi mismo fue designado como asesor de tesis el en I. FRANCISCO ANZURES ROSAS Ruego a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Acatlan Edo. de México a 14 de Octubre de 1996


Ing. Carlos Rosales Aguilar
Jefe del Programa de Ingeniería Civil



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

AGRADECIMIENTOS:

A TI VIRGEN DE SAN JUAN DE LOS RIOS:

POR HABERME PERMITIDO TERMINAR MI CARRERA PROFESIONAL.

A MIS PADRES:

QUERIDOS PAPAS, CERCA DE DIOS DONDE ESTOY SEGURO QUE SE ENCUENTRAN, YO SE QUE TAMBIEN DISFRUTAN Y ESTAN CONTENTOS DE ESTE LOGRO QUE INICIAMOS JUNTOS Y QUE AHORA CONCLUIMOS, INFINITAS GRACIAS TE DOY MI PEPITO Y MI LUPITA, POR TODO SU GRAN AMOR, SU GRAN CARIÑO Y SU GRAN APOYO QUE ME BRINDARON SIEMPRE EN CADA MOMENTO DE MI VIDA, CON RESPETO Y CARIÑO, LOS RECORDARE SIEMPRE.

A MI NOVIA LA DRA. YOLANDA HERNANDEZ H.:

POR TODO EL APOYO QUE ME BRINDASTE, Y QUIERO QUE SEPAS QUE LOS LOGROS Y METAS QUE HE ALCANZADO, FUERON GRACIAS A TU AYUDA, A QUE SIEMPRE HAS ESTADO A MI LADO Y POR MOTIVARME A SEGUIR ADELANTE EN TODO, GRACIAS MI YOLIS.

A MI TIA LUPITA Y JULY:

POR EL APOYO DESINTERESADO QUE ME BRINDARON SIEMPRE.

A MIS HERMANDOS:

POR SU CARÑO Y AMISTAD.

A TODOS MIS PROFESORES:

POR LOS INVALUABLES CONOCIMIENTOS QUE ME LEGARON.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO:

POR HABERME BRINDADO LA GRAN OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR UNA CARRERA PROFESIONAL.

INDICE

	Pagina
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1 GENERALIDADES	2
1.1 CENTRAL DE GENERACION ELECTRICA	3
1.1.1 Centrales Carboeléctricas	3
1.1.1.1 Carbón	4
1.1.1.2 Combustión del carbón	5
1.1.1.3 Carbón sólido y pulverizado	6
1.1.2 Sistemas de manejo del carbón y ceniza en las Centrales Carboeléctricas	7
1.1.2.1 Manejo del carbón	7
1.1.2.2 Manejo de ceniza volante	8
1.1.2.3 Manejo de ceniza de fondo	11
1.2 CARACTERISTICAS DE LA CENIZA VOLANTE	12
1.2.1 Características físicas	13
1.2.1.1 Contenido de agua	13
1.2.1.2 Granulometría	14
1.2.1.3 Peso volumétrico	15
1.2.2 Características químicas	16
1.3 UTILIZACION ACTUAL DE LA CENIZA VOLANTE	17
1.3.1 Ceniza volante producida en una Central Carboeléctrica	19
1.3.2 Características de los agregados	24
1.3.2.1 Arena andesítica	24
1.3.2.2 Grava andesítica	25
1.3.2.3 Grava de basalto escoriáceo (lapilli)	25
1.3.2.4 Gravas trituradas	26
1.3.3 Efectos de la ceniza en los concretos ensayados	26

CAPITULO 2	ESTUDIOS GEOTECNICOS	36
2.1	ESTABILIDAD DE TALUDES	37
2.1.1	Generalidades	37
2.1.2	Tipos de fallas más comunes	38
2.1.2.1	Falla rotacional	38
2.1.2.2	Falla traslacional	39
2.1.2.3	Fallas con superficie compuesta	39
2.1.2.4	Fallas múltiples	41
2.1.2.4.1	Fallas regresivas	41
2.1.2.4.2	Fallas sucesivas	42
2.1.2.5	Derrumbes y caídos	43
2.1.2.6	Fallas por erosión	43
2.1.2.7	Fallas por tubificación	43
2.1.2.8	Fallas por agrietamiento	44
2.1.2.9	Fallas por licuación	44
2.1.3	Métodos de cálculo de estabilidad de taludes	44
2.1.3.1	Método sueco	45
2.1.3.1.1	Método sueco en suelos cohesivos	45
2.1.3.1.2	Método sueco en suelos cohesivo - friccionantes	47
2.1.3.2	Método de Bishop simplificado	50
2.1.3.2.1	Condiciones estáticas	50
2.1.3.2.2	Condiciones dinámicas	52
2.1.4	Métodos correctivos para fallas en laderas y taludes	55
2.1.4.1	Tender taludes	55
2.1.4.2	Empleo de bermas	56
2.1.4.3	Consolidación previa	58
2.1.4.4	Empleo de muros de retención	58
2.1.4.5	Precauciones de drenaje	58
2.1.4.6	Empleo de contrapesos al pie de la falla	60
2.1.4.7	Anclajes	60
2.1.4.8	Empleo de vegetación	61
2.2	PROPIEDADES MECANICAS DE LA CENIZA VOLANTE	63
2.2.1	Resistencia al esfuerzo cortante	63
2.2.2	Angulo de fricción interna	64

2.2.3	Permeabilidad	64
2.2.4	Humedad optima y peso volumetrico	64
2.3	ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE CENIZA Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	67
2.3.1	Terraplén de ceniza	67
2.3.1.1	Diseño de cálculo	67
2.3.1.2	Revisión del factor de seguridad	68
2.3.2	Bordos de protección	69
2.3.3	Bordos permeables	70
2.4	ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA	73
2.4.1	Exploración de campo	73
2.4.1.1	Pozos a cielo abierto	73
2.4.1.2	Sondeos mixtos	74
2.4.2	Trabajos de laboratorio	74
2.4.3	Descripción del suelo	80
2.4.4	Capacidad de carga	80
2.5	OBRAS DE DRENAJE	81
2.5.1	Drenes longitudinales	81
2.5.2	Drenes de captación	83
2.5.3	Laguna de sedimentación	83
2.5.4	Trincheras	84
2.5.5	Lavaderos	84
CAPITULO 3 PROCESO CONSTRUCTIVO		89
3.1	MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCION	90
3.1.1	Tractores	90
3.1.2	Motoconformadoras	96
3.1.3	Compactadores	100
3.1.3.1	Rodillos vibratorios	102
3.1.4	Cargadores	105
3.1.5	Retroexcavadoras	109

3.1.6	Camiones fuera de carretera	112
3.2	DESMONTE	116
3.3	DESPALME	117
3.4	TRANSPORTE DE LA CENIZA	118
3.5	TIPOS DE CAMINOS	119
3.6	TENDIDO DE LA CENIZA	119
3.6.1	Bases para los terraplenes	120
3.6.2	Formación de los terraplenes	121
3.6.3	Ampliación de la corona en los terraplenes	123
3.6.4	Tendido de taludes de terraplenes ya existentes	125
3.6.5	Conformación de taludes	126
3.6.6	Colocación de la ceniza en rellenos	127
3.7	COMPACTACION DE LA CENIZA	128
3.7.1	Verificación del grado de compactación	130
3.8	OBRAS DE PROTECCION	140
3.8.1	Protección de taludes	140
3.8.2	Protección de la corona	141
3.9	CONCEPTOS DE OBRA	141
3.9.1	Especificaciones generales	141
3.9.1.1	Parámetros de proyecto	145
3.9.1.2	Especificaciones geométricas del terraplén de ceniza	145
3.9.1.3	Aspectos generales	146
3.9.1.4	Dimensiones	147
3.9.1.5	Tiempo disponible para la operación	147
3.9.2	Requerimientos	147
3.9.2.1	Requerimientos de equipo	147
3.9.2.1.1	Equipo de acarreo de ceniza	147
3.9.2.1.2	Equipo de acarreo de arcilla	148
3.9.2.1.3	Equipo de extracción	148
3.9.2.1.4	Equipo de extracción y bandedo	149
3.9.2.1.5	Equipo de conformación	149
3.9.2.1.6	Equipo de compactación	149
3.9.2.1.7	Equipo de riego	150

3.9.2.2	Requerimientos humanos	150
3.9.2.2.1	Operación	150
3.9.2.2.2	Mantenimiento	151
3.9.2.3	Requerimientos de infraestructura	152
3.9.3	Procedimiento constructivo	153
3.9.3.1	Transporte de la ceniza	153
3.9.3.2	Extracción y transporte de arcilla	154
3.9.3.3	Formación de la pila de ceniza	154
3.9.4	Obras complementarias	161
3.9.4.1	Drenaje	161
3.9.4.1.1	Lavaderos	161
3.9.4.1.2	Lloraderos	161
3.9.4.2	Conservación de pozos de abastecimiento de agua	164
3.9.4.3	Descripción de los trabajos que se incluyen en la reforestación del apilado de la ceniza	164
3.9.5	Catálogo de conceptos y cantidades de obra	165
CONCLUSIONES		168
BIBLIOGRAFIA		169

INTRODUCCION

En las Centrales Carboeléctricas, el carbón mineral es el energético primario para la generación de electricidad. De la combustión del carbón se producen desechos sólidos que son la ceniza de fondo y la ceniza volante.

Considerando la gran cantidad de ceniza que puede producir una Central Carboeléctrica, surge la necesidad de establecer métodos que permitan almacenar eficientemente la ceniza, construyendo terraplenes o rellenando depresiones.

El objetivo de esta Tesis es recomendar un proceso para el acomodo de la ceniza.

En el primer capítulo, se describe la operación funcional de una Central de generación eléctrica, las características de una Central Carboeléctrica, las características del carbón, el sistema de manejo del carbón y ceniza, las características físicas y químicas de la ceniza volante, y la utilización actual de la ceniza volante.

En el segundo capítulo, se comenta sobre la estabilidad de taludes, sus tipos de fallas, sus métodos de cálculo, los métodos correctivos para fallas en laderas y taludes, las propiedades mecánicas de la ceniza volante, el análisis de capacidad de carga y las obras de drenaje.

Asimismo, se menciona en el tercer capítulo el proceso constructivo, donde se presenta la maquinaria necesaria para la construcción de terraplenes, el desmonte, el despalme, el transporte, los tipos de caminos, el tendido de la ceniza, la compactación de la ceniza, las obras de protección, y los conceptos de obra.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1 CENTRAL DE GENERACION ELECTRICA

Una Central de generación es una instalación cuyo objetivo es la producción de energía eléctrica. Esta última es el resultado de una serie de transformaciones de energía, las cuales se realizan precisamente dentro de la Central.

La Central debe contar con alguna forma de energía primaria disponible, a partir de la cual se inician todas las transformaciones necesarias hasta llegar finalmente a la energía eléctrica. En la figura 1, se muestra el diagrama a bloques de una Central de generación.

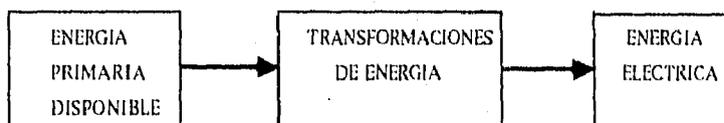


FIGURA 1 DIAGRAMA A BLOQUES DE UNA CENTRAL DE GENERACION

1.1.1 Centrales Carboeléctricas

Las Centrales Termoeléctricas consumen, según su tipo, diferentes combustibles. Uno de dichos combustibles es el carbón, el cual es utilizado en algunas Centrales y de ahí su nombre de Centrales Carboeléctricas.

A continuación, se analizan algunas características del carbón y su manejo en las Centrales Carboeléctricas.

1.1.1.1 Carbón

El carbón, que fue considerado como alternativa estratégica en la mayoría de las regiones del mundo, en América Latina no lo ha sido, pues los grandes esfuerzos financieros se han orientado hacia la utilización de los recursos hídricos, a través del montaje de hidroeléctricas y la ampliación de la infraestructura de los hidrocarburos.

La estructura comparativa de las reservas de los distintos recursos energéticos de origen fósil en términos de toneladas equivalentes de carbón, permite visualizar la importancia del potencial de este recurso, particularmente en América Latina y el Caribe. Si bien las reservas de carbón no son significativas a nivel mundial, pues tan sólo representan el 2.7 % del total, su importancia radica en que en términos equivalentes, estas reservas son ligeramente superiores en magnitud a las del petróleo.

En cuanto a la relación reservas/producción, la desproporción es significativa ya que mientras las disponibilidades, en caso de continuarse con los niveles de producción registrados en 1987, indican una duración de 53 años para el petróleo y 55 años para el gas natural, ésta es absolutamente superior para el carbón, 1 057 años, lo que demuestra el potencial de este recurso no solo para la región, sino para el resto del mundo.

No obstante contar América Latina con un potencial significativo, su participación en la estructura del consumo bruto de energía es inferior al 4 %, en tanto que los hidrocarburos representan cerca del 60 % del total.

Esta situación contrasta notoriamente con la participación de este recurso en la estructura del consumo de energía de los países industrializados, que se estimó del orden del 23 % en 1987.

De hecho, se pretende una diversificación y sustitución de carbon por petróleo, especialmente en el sector eléctrico.

En realidad, se espera que la generación de energía eléctrica a partir del petróleo, descienda a 395,6 TWh (Teravatios/hora) en el año 2 000, frente a 1 094 TWh registrados en 1986.

Finalmente, cabe mencionar que las reservas probadas de carbón en México son de 1 886 millones de toneladas; y de reservas probables son de 5 976 millones de toneladas. Considerando el total en América Latina y el Caribe, se tienen 20 233.2 millones de toneladas y 42 463.8 millones de toneladas, respectivamente.

1.1.1.2 Combustión del carbón

Como se sabe, para generar fuego, se requiere de tres elementos: combustible, en este caso el carbón; un comburente, que es el oxígeno; y una fuente de calor.

Recordando que cuando se hace arder el carbón se genera una reacción química, se tiene que el carbón es calentado a una temperatura suficientemente alta en presencia de aire, el carbono contenido en el carbón se combina con el oxígeno del aire para formar dióxido de carbono (CO_2) o monóxido de carbono (CO).

La formación de cualquiera de estos gases, depende de la cantidad de aire presente en la combustión. Tener " CO " significa que el carbón está solo parcialmente quemado. En realidad, el " CO " puede ser combinado con más oxígeno para formar " CO_2 ".

En la combustión no es deseable tener " CO ", porque ésto significa que el carbón aún tiene energía que no ha sido aprovechada, la cual puede aprovecharse formando " CO_2 ".

Es por ésto, que en la operación de generadores de vapor, siempre se genera " CO_2 " porque de esta forma, se conseguirá toda la energía disponible en el

combustible.

En la realidad, no es posible suministrar la exacta cantidad de aire requerida para tener "CO₂", pero se trata de tener la cantidad más cercana.

El proceso de combustión, por ser un proceso químico, envuelve un conocimiento de la composición del carbón, sus condiciones físicas, su comportamiento bajo varias condiciones de temperatura, etc. La combustión del carbón es un proceso complejo que requiere de un análisis minucioso para lograr el equilibrio entre la cantidad adecuada de aire y carbón. Sin embargo, en promedio se necesitan 8 kg de aire por 1/2 kg de carbón para lograr una buena combustión.

1.1.1.3 Carbón sólido y pulverizado

Las Centrales de este tipo, introducen el carbón al hogar de la caldera mediante una banda transportadora y una tolva.

La mayor parte de las Centrales Carboeléctricas funcionan mediante carbón previamente pulverizado.

La razón radica en que el control de la ignición (estado de los cuerpos en combustión) del carbón pulverizado es más flexible que el carbón sólido. Con el carbón sólido siempre hay una parte en el hogar de la caldera que contiene una considerable cantidad de energía que no ha sido liberada.

Si de repente el suministro de carbón fuese cortado, el carbón en el hogar seguiría ardiendo por un apreciable periodo. En cambio con el carbón pulverizado si se cortase el suministro, la combustión cesaría en forma instantánea. Esto da mayor flexibilidad en casos de emergencia, en los que se requiera poner fuera de servicio la Central, de manera inmediata.

1.1.2 Sistemas de manejo del carbón y ceniza en las Centrales Carboeléctricas

La combustión del carbón en una Central de este tipo, produce ceniza en el generador de vapor, que se clasifica en dos tipos:

- a) Ceniza de fondo.- Es la que se separa del carbón en la combustión y cae al fondo de la caldera por su peso.
- b) Ceniza volante.- Es la que se separa del carbón en la combustión y es arrastrada por los gases de combustión.

Debido a esto, el funcionamiento de una unidad generadora con base en carbón dependerá en alto grado de la disponibilidad de los siguientes sistemas:

- a) Manejo de carbón.
- b) Manejo de ceniza volante.
- c) Manejo de ceniza de fondo.

1.1.2.1 Manejo del carbón

El sistema de manejo de carbón tiene la finalidad de transportar, por medio de bandas, el carbón desde una mina (o de silos de almacenamiento) hasta el hogar de la caldera en el generador de vapor. Asimismo tritura y pulveriza el carbón, separa restos de hierro contenido en él y en general adecúa el carbón para que éste, cumpla con ciertas características que permitan una adecuada combustión.

Al realizarse la combustión se genera ceniza, la cual es necesario remover para evitar transtornos en el funcionamiento del generador de vapor.

La ceniza volante se dirige hacia el interior del generador de vapor y la ceniza de fondo se capta en tolvas, en la parte inferior de éste, conocidas como cenicero.

1.1.2.2 Manejo de ceniza volante

El sistema de manejo de ceniza volante en Centrales Carboeléctricas son del tipo neumático.

La ceniza volante se origina en la combustión del carbón, en el interior de la caldera y es arrastrada por los gases, precipitándose parte de ella al tanque del economizador, pasando después a través de los precalentadores de aire regenerativos.

En la figura 2, se muestra un corte seccional del generador de vapor y equipo auxiliar, observándose la trayectoria que sigue al flujo de gases con ceniza y las diversas captaciones que se van teniendo de ella.

Después de pasar la ceniza a través de los precalentadores, parte de ella se precipita a la parte inferior de ellos, donde se ubican pequeñas tolvas, conteniendo transmisores de ceniza, que la enviarán a un silo de transferencia.

Después la ceniza pasa al precipitador electrostático, donde se captará la mayor parte de ceniza volante de acuerdo a la ionización de la misma y a base de electrodos con gran voltaje de corriente directa.

La ceniza se precipita, al ser desprendida por medio de golpeadores, hasta la parte inferior del precipitador donde se localizan unas tolvas que reciben la ceniza, enviándola al transmisor de cada tolva.

El elemento principal de este sistema es el precipitador electrostático, el cual es un dispositivo que utiliza la energía eléctrica para separar dichas partículas suspendidas en los gases, con el fin de evitar la contaminación atmosférica y deterioro de los tiros Inducidos.

La ceniza se presuriza en el transmisor y es manejada por un juego de válvulas para enviarla como una especie de tapón deslizante, a través de la tubería.

Las tuberías descargan a un silo de transferencia primario, que sirve sólo como punto de transferencia para poder enviar la ceniza a una distancia mayor; teniendo para ello unos transmisores de mayor tamaño que los del precalentador de aire regenerativo y del precipitador electrostático; éstos transmisores reciben el nombre de "jumbos", los cuales trabajan a una presión mayor para poder enviar la ceniza hasta los silos principales de almacenamiento, que pueden estar ubicados a grandes distancias.

La ceniza transportada al silo principal se almacena en él mismo, contando con 2 silos para cada unidad y donde se tienen 2 tipos de descarga continua (por turnos): una seca y otra húmeda a vehículos de volteo, carros pipa y furgones de ferrocarril.

DESCRIPCION

- 1.- SILOS.
- 2.- ALIMENTADOR DE CARBON.
- 3.- PULVERIZADOR DE CARBON.
- 4.- TOLVA DE CENIZAS DE FONDO.
- 5.- CAMARA DE COMBUSTION.
- 6.- CAJA DE QUEMADORES.
- 7.- TUBOS BAJANTES.
- 8.- DOMO.
- 9.- PLATEN.
- 10.- SOBRECALENTADOR SECUNDARIO.
- 11.- RECALENTADOR SECUNDARIO.
- 12.- CAMARA MUERTA.
- 13.- RECALENTADOR PRIMARIO.
- 14.- SOBRECALENTADOR PRIMARIO.
- 15.- ECONOMIZADOR.
- 16.- PRECALENTADOR DE AIRE.
- 17.- VENTILADOR DE AIRE FORZADO.
- 18.- VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO.
- 19.- DUCTO DE GASES.
- 20.- PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.
- 21.- VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO.
- 22.- CHIMENEA (120 m altura).
- 23.- TANQUE DEL ECONOMIZADOR.
- 24.- TRANSMISORES DEL PRECALENTADOR DE AIRE REGENERATIVO.
- 25.- TRANSMISORES DEL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO.

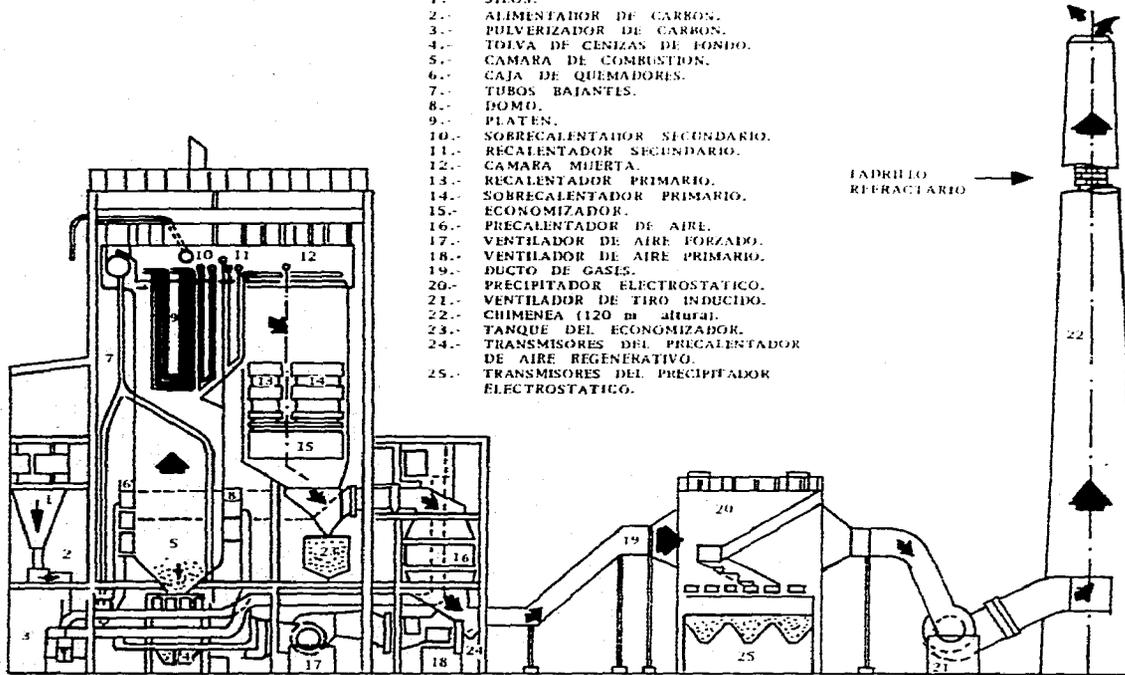


FIGURA 2 CORTE SECCIONAL DEL GENERADOR DE VAPOR Y SUS AUXILIARES.

1.1.2.3 Manejo de ceniza de fondo

El sistema de manejo de ceniza de fondo, está diseñado para manejar la ceniza producida por el generador de vapor. Se considera que en una Planta Carboeléctrica del 100 % de ceniza producida, el 26.5 % queda bajo la jurisdicción de este sistema, el resto corresponde al sistema de manejo de la ceniza volante.

Los porcentajes de distribución de ceniza para el sistema de manejo de ceniza de fondo son: fondo del hogar de la caldera 20 %, economizador 6 %, rechazo de pulverizadores (piritas) 0.5 %.

Dentro del sistema, se ubica la sección de manejo de piritas. Se llama pirita al componente del carbón (piedra) cuya dureza mecánica le impide al triturador reducir su tamaño, por lo que es necesario retirarlo.

El sistema de manejo de ceniza de fondo, se integra básicamente por tolvas de captación de ceniza en el hogar del generador de vapor, en el economizador y por las tolvas de rechazos de piritas de los pulverizadores, desde las cuales la ceniza se transporta hidráulicamente por medio de dos líneas de tubería a las tolvas decantadoras que permiten separar el agua de la ceniza. La figura 3, muestra la distribución de la ceniza en el generador de vapor.

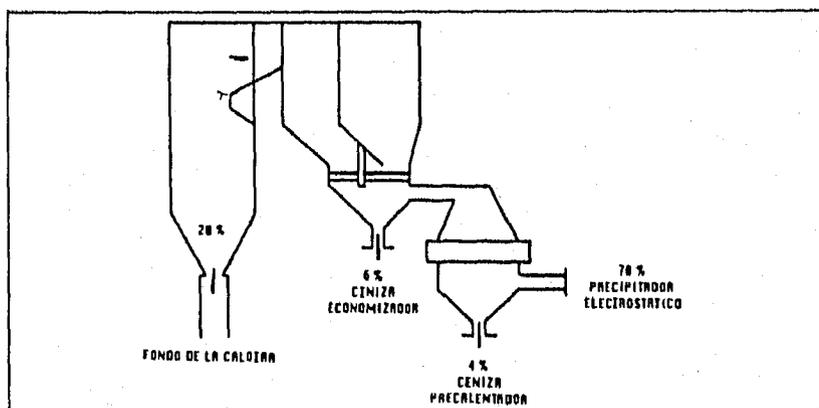


FIGURA 3 DISTRIBUCION DE CENIZA DENTRO DEL GENERADOR DE VAPOR

1.2 CARACTERISTICAS DE LA CENIZA VOLANTE

La formación de la ceniza volante esta condicionada por el proceso térmico de la Central Carboeléctrica (temperatura), tipo de carbón (composición, granulometría), etc., y es determinante a su vez, de sus características físicas, químicas, mineralógicas y morfológicas y, por lo tanto, de su comportamiento posterior.

La ceniza volante no es un material homogéneo, ya que el conjunto de partículas que la constituyen difieren en composición química, tamaño, granulometría, textura superficial, etc.

Durante el proceso de combustión y dependiendo de la temperatura alcanzada, transcurren un gran número de reacciones químicas; se produce la deshidratación de los minerales asociados al carbón, los carbonatos se descomponen, las bases minerales cambian o llegan a la fusión, el yeso se deshidrata y las piritas se oxidan.

Cuanto más elevada sea la temperatura de combustión, mayor es la cantidad de material fundido; así, mientras que con una temperatura de 1 000 °C, el porcentaje alcanza sólo el 20 % del total, con temperaturas entre 1 500 °C y 1 700 °C, todas las fases minerales se encuentran ya fundidas.

La naturaleza vítrea o cristalina de la ceniza volante que se origina está condicionada, no solo a la temperatura de combustión alcanzada, sino a la velocidad de enfriamiento. Un enfriamiento rápido favorece que la proporción entre el contenido de material vítreo y cristalino aumente, con la consiguiente influencia en la reactividad del material y en sus propiedades puzolánicas.

Las partículas gruesas caen al fondo de la caldera y las partículas más finas permanecen suspendidas en los gases, adquiriendo forma esférica debido a la tensión superficial, éstas son las que toman el nombre de ceniza volante.

El examen microscópico de la ceniza volante muestra multitud de pequeños granos, forma (esferas predominantemente), composición y textura superficial.

Existen esferas huecas que albergan en su interior otras más pequeñas o bien partículas de inquemados, otras son compactas, otras porosas, junto a ellas hay partículas irregulares que consisten en cuarzo o fragmentos vítreos o inquemados.

1.2.1 Características Físicas

La apariencia gris de la ceniza volante es el resultado directo de la combustión del carbón bajo condiciones reducidas de oxígeno. El color de la ceniza, dentro de cada Central y entre las diferentes Centrales, puede variar desde un gris claro hasta el negro.

De forma general, la combustión del carbón y su posterior y rápido enfriamiento, hará que la ceniza tenga una textura fundamental vítrea, con pocos cristales y con restos de inquemados. Debido a la común forma esférica de la mayoría de las partículas, la ceniza volante es un polvo granulado de características únicas.

Las características físicas más importantes son:

- a) El contenido de agua.
- b) Tamaño.
- c) Peso volumétrico.

1.2.1.1 Contenido de agua

Es el cociente entre el peso del agua en los poros de la ceniza y el peso de la ceniza seca.

Este parámetro se obtiene en el laboratorio y es necesario cuando se va a realizar una compactación controlada de los terraplenes y rellenos, formados con ceniza. En base al contenido de agua de la ceniza, se puede cuantificar el tonelaje a transportar y se pueden estimar las condiciones en que se transporta (polvo-lodo).

1.2.1.2 Granulometría

La distribución granulométrica de las partículas de la ceniza volante, es una de las características más variables; en ella influyen fundamentalmente el grado de pulverización del carbón de origen, el proceso térmico (temperatura alcanzada, contenido de inquemados) y el tipo de precipitadores de las Centrales Carboeléctricas.

En términos generales la ceniza volante es un material fino, casi talco con tamaño de sus partículas, variando en un rango entre 0.002 y 0.2 mm.

La ceniza de fondo es un material con tamaño de partículas variando en un rango entre 0.09 y 7 mm, ver figura 4.

Este parámetro se obtiene en el laboratorio y es necesario cuando se va a realizar una compactación controlada de los terraplenes y rellenos, formados con ceniza. En base al contenido de agua de la ceniza, se puede cuantificar el tonelaje a transportar y se pueden estimar las condiciones en que se transporta (polvo-todo).

1.2.1.2 Granulometría

La distribución granulométrica de las partículas de la ceniza volante, es una de las características más variables; en ella influyen fundamentalmente el grado de pulverización del carbón de origen, el proceso térmico (temperatura alcanzada, contenido de inquemados) y el tipo de precipitadores de las Centrales Carboeléctricas.

En términos generales la ceniza volante es un material fino, casi todo con tamaño de sus partículas, variando en un rango entre 0.002 y 0.2 mm.

La ceniza de fondo es un material con tamaño de partículas variando en un rango entre 0.09 y 7 mm, ver figura 4.

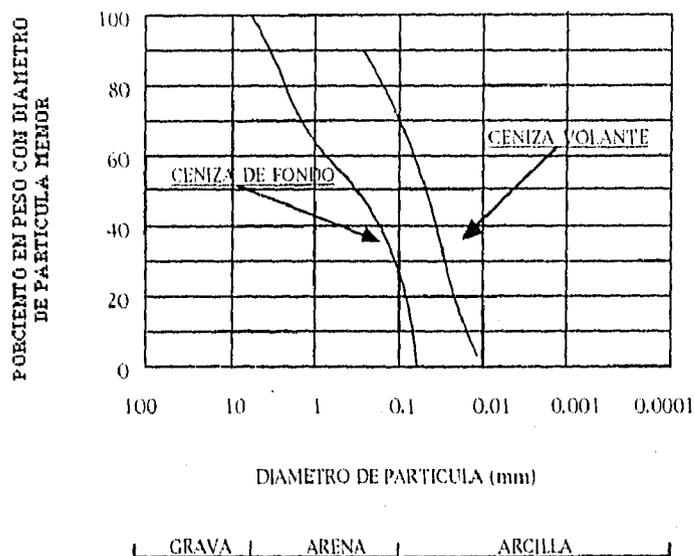


FIGURA 4 CURVAS GRANULOMETRICAS DE LAS CENIZAS

1.2.1.3 Peso volumétrico

Es la relación del peso de la ceniza entre la unidad de volumen. El peso volumétrico influye en la permeabilidad de los terraplenes, en su dureza y en la resistencia al esfuerzo cortante.

Mediante la prueba de compactación tipo Proctor, se puede obtener el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar la ceniza al compactarse.

En la tabla 1, están indicados los valores del contenido de agua, peso específico y

peso volumétrico seco y húmedo, para la ceniza de fondo y ceniza volante.

	CENIZA VOLANTE	CENIZA DE FONDO
HUMEDAD OPTIMA (%)	23-25	34-39
PESO ESPECIFICO	2.1-2.6	2.3-2.8
PESO VOLUMETRICO SECO (ton/m ³)	0.80	Sin datos
PESO VOLUMETRICO HUMEDO (ton/m ³)	1.30	Sin datos

TABLA 1 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS CENIZAS

1.2.2 Características Químicas

La composición química de la ceniza volante es muy variable, dependiendo del tipo de carbón y origen, del proceso de funcionamiento de la caldera, del sistema y momento en que son captadas, etc.

Se han realizado análisis mineralógicos de la ceniza volante y se ha encontrado que está formada principalmente, por óxidos insolubles de silicio, aluminio y hierro; en menor cantidad por sales inorgánicas solubles como son el magnesio, potasio, sodio, azufre y por pequeñas porciones de metales pesados (arsénico, plomo, cromo, cobre y boro).

En la tabla 2, se indican los porcentajes en peso de este análisis mineralógico.

OXIDOS INSOLUBLES	OXIDO DE SILICIO	Si O ₂	63.03	92.94
	OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	25.57	
	OXIDO DE FIERRO	Fe ₂ O ₃	4.34	
SALES INORGANICAS SOLUBLES	OXIDO DE CALCIO	Ca O ₃	0.31	3.97
	OXIDO DE MAGNESIO	Mg O	1.01	
	OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.80	
	OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.83	
	TRIOXIDO DE AZUFRE	S O ₃	0.25	
	OXIDO DE TITANIO	Ti O ₂	0.77	
METALES PESADOS	OTROS		3.09	3.09

TABLA 2 COMPOSICIÓN MINERALOGICA DE LA CENIZA VOLANTE

1.3 UTILIZACION ACTUAL DE LA CENIZA VOLANTE

La extensa aplicación de la ceniza volante en el concreto ha despertado confianza, no sólo por la difusión de la tecnología, sino también por los éxitos alcanzados en este campo.

Durante los últimos cuarenta años, la ceniza volante se ha usado en todo el mundo con éxito siempre creciente; las pocas fallas que existen pueden atribuirse a la

combinación de una especificación deficiente, ceniza de calidad variable y prácticas constructivas que no satisfacen las normas establecidas.

En muchos de los más recientes y notables proyectos de Ingeniería Civil realizados tanto en el extranjero como en México se ha usado y se continúa usando, con buenos resultados, ceniza volante en el concreto. La variedad de los concretos utilizados en estos proyectos, comprende desde el concreto tradicional con ceniza volante para presas, hasta el concreto presforzado y el concreto resistente a sulfatos, demostrando la versatilidad de la ceniza volante, que de otra manera sería considerada como producto de desecho.

A continuación se analizan los estudios hechos sobre la utilización de la ceniza volante en México.

Como parte del programa nacional de diversificación de fuentes de energía primaria, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) construyó en el estado de Coahuila la Central Carboeléctrica "José López Portillo", que consume carbón mineral, de cercanos yacimientos explotados por la Minera Carbonifera Río Escondido, S.A. (MICARE).

La combustión del carbón en esta Central produce alrededor de 4 000 t diarias de ceniza de las cuales el 73.5 % aproximadamente, son las denominadas cenizas volantes, cuyo reducido tamaño de partícula les permite mantenerse suspendidas en los gases de la combustión.

Para evitar la contaminación atmosférica, estos gases son despojados de la ceniza volante, antes de salir por las chimeneas, mediante filtros electrostáticos con tres campos de recuperación denominados A, B y C, en donde se captan sucesivamente las partículas de tamaño mayor a menor.

La ceniza recuperada en los tres campos se junta en una sola ceniza volante llamada ceniza integral que se transporta neumáticamente a silos de almacenamiento.

Entre los diversos usos de la ceniza volante, destaca su utilidad como puzolana en la elaboración de concreto, lo cual puede ser de dos modos: formando parte de un

cemento puzolánico o como aditivo mineral que se incorpora al concreto en la revolvedora.

El empleo del primer modo, se realiza actualmente en dos fábricas de cemento que utilizan la ceniza volante integral como materia prima, molliéndola junto con el clinker, con lo cual se incrementa su finura y su actividad puzolánica.

Para fomentar el uso de esta ceniza del segundo modo, se realizaron estudios de cuyos resultados, se concluyó que las partículas más finas de la ceniza volante poseen en estado natural, suficiente actividad puzolánica para cumplir con las especificaciones aplicables a las puzolanas que se adicionan al concreto en la revolvedora.

Para comprobar los beneficios que la ceniza volante fina puede producir al adicionarla al concreto de cemento Portland, "MICARE" patrocinó los estudios que aquí se reseñan, empleando agregados que son de uso normal en el Distrito Federal.

1.3.1 Ceniza volante producida en una Central Carboeléctrica

Fisicamente, la ceniza volante integral, se compone de partículas con tamaños comprendidos entre 2 y 200 micras aproximadamente, cuyas formas son predominantemente esféricas. En el aspecto químico su principal componente es el silice en estado vítreo que, como se sabe, suele poseer propiedades puzolánicas. El análisis químico completo de la ceniza volante integral se indica en la tabla 3, en donde se observa que cumple con los requisitos de la especificación "ASTM C 618" aplicable a este tipo de material (ASTM designation C 618. "standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete"). Esto significa que la materia constitutiva de la ceniza volante es de buen índole como puzolana.

CONCEPTOS	CENIZA VOLANTE INTEGRAL	ESPECIFICACION ASTM C 618 (CENIZA TIPO F)
Análisis químico, %		
SiO ₂ (sílice)	63.03	
Al ₂ O ₃ (óxido de aluminio)	25.57	
Fe ₂ O ₃ (óxido férrico)	4.34	
(SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	92.94	70.0 mín.
CaO (óxido de calcio)	0.31	
MgO (óxido de magnesio)	1.01	5.0 máx
SO ₃ (anhídrido sulfúrico)	0.25	5.0 máx
Pérdida por ignición	1.8	12.0 máx

TABLA 3 - RELACION ANALISIS QUIMICO / ESPECIFICACION ASTM C 618

Conforme se mencionó previamente, la ceniza volante integral procede de la combinación de la ceniza captada en los campos A, B y C, cuyas curvas granulométricas típicas se muestran en la figura 5, en la cual se puede notar la diferencia que existe en sus respectivos tamaños de partículas. Debido a que la ceniza del campo "A", es más gruesa y representa alrededor del 80 % de toda la ceniza, la ceniza volante integral también resulta gruesa. Esto se pone de manifiesto en la figura 6, que contiene la curva granulométrica característica de la ceniza volante integral; ahí se hace notar que su contenido (42 %) de partículas mayores de 45 micras excede el límite máximo (34 %) permitido en la especificación "ASTM C 618".

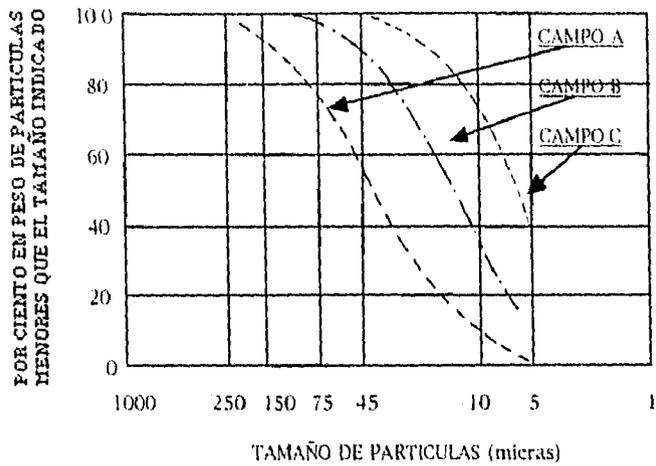


FIGURA 5 CURVAS GRANULOMETRICAS DE CENIZA EN LOS CAMPOS A,B y C

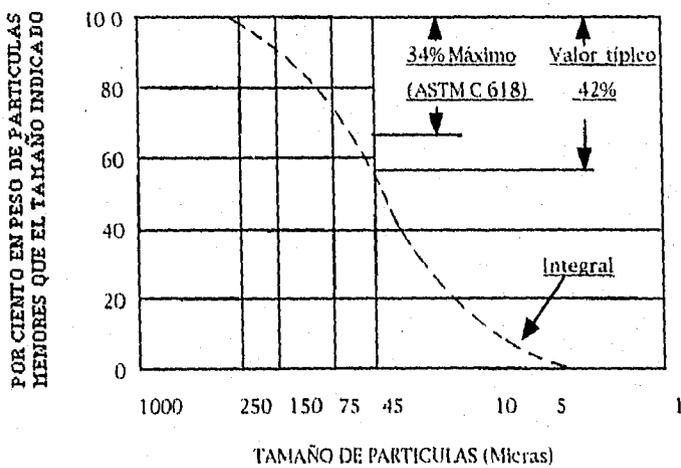


FIGURA 6 CURVA GRANULOMETRICA DE LA CENIZA VOLANTE INTEGRAL

Este exceso de partículas gruesas en la ceniza integral, limita su actividad puzolánica, para cuyo desarrollo es requisito esencial una finura adecuada. Así, en la figura 7, se representa la actividad puzolánica con cal determinada en la ceniza integral y en la ceniza de los campos A, B y C, haciéndose notar que solamente la ceniza más fina, de los campos B y C, exhiben una actividad superior al mínimo requerido.

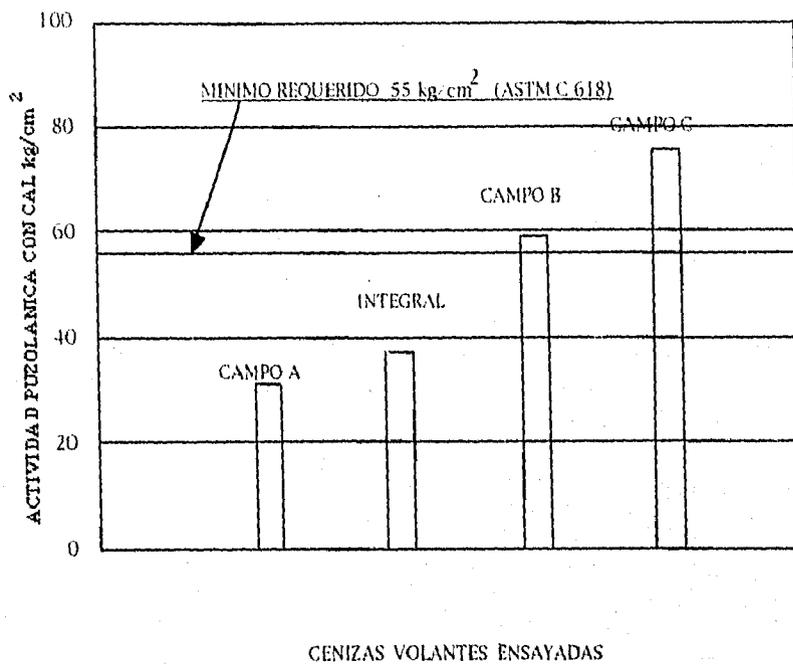


FIGURA 7 ACTIVIDAD PUZOLANICA DE LAS CENIZAS VOLANTES RECUPERADAS DE LOS CAMPOS A, B, C, e INTEGRAL

En otras pruebas de actividad puzolánica con cal, se ensayaron las partículas más finas de la ceniza volante integral, separando con aire las fracciones menores de 25, 38, y 45 micras sucesivamente. Los resultados de estas pruebas se hallan representados gráficamente en la figura 8, quedando de manifiesto el buen desempeño de las tres fracciones ensayadas; lo cual significa que el conjunto de las partículas más finas, hasta un tamaño máximo aproximado de 45 micras, posee actividad puzolánica satisfactoria.

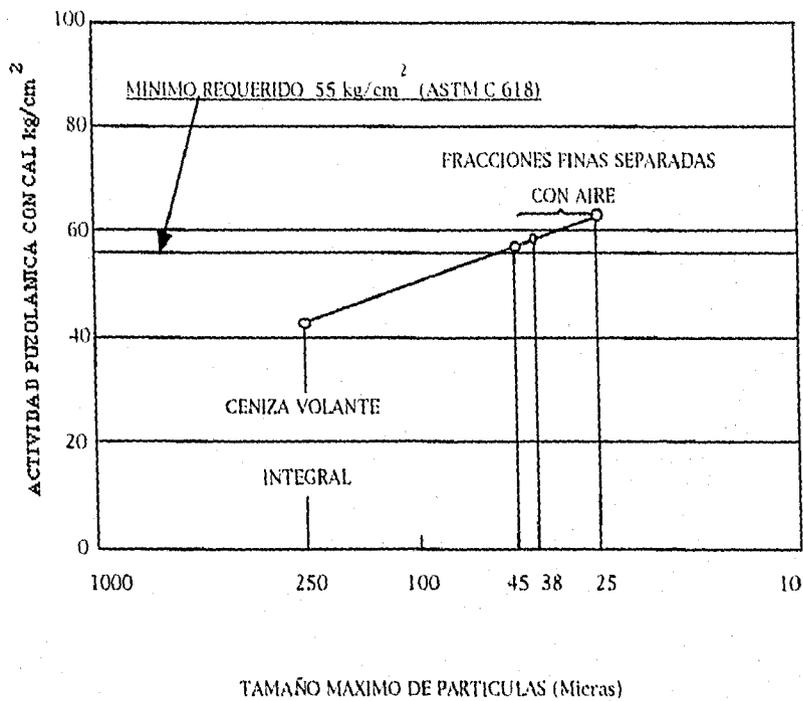


FIGURA 8 ACTIVIDAD PUZOLANICA DE FRACCIONES FINAS SEPARADAS CON AIRE

De conformidad con lo expuesto, existen en este caso tres opciones básicas para habilitar una ceniza volante que posea adecuada actividad puzolánica:

- 1.- Moler la ceniza volante integral, tal como se hace al fabricar el cemento puzolánico.
- 2.- Disponer por separado de la ceniza volante más fina, captada en los campos B y C.
- 3.- Dividir con aire la ceniza volante integral, para aprovechar la fracción fina menor de 45 micras aproximadamente.

Se han desarrollado planes conjuntos, para la aplicación de las opciones 2 y 3. Con este antecedente, se consideró conveniente verificar el comportamiento en el concreto de la ceniza volante clasificada que se obtendría en el proceso con ambas opciones. Por tal fin, se juzgó adecuado utilizar agregados que son de uso común en el Distrito Federal, por dos razones principales:

- a) Los concretos con estos agregados suelen representar ciertas características indeseables que podrían moderarse con el uso de la ceniza volante clasificada.
- b) El Distrito Federal representa el mayor centro de consumo en el país de manera que, si el bajo costo de la ceniza y los beneficios técnicos lo justifican, puede ser factible su introducción a este mercado potencial.

1.3.2 Características de los agregados

1.3.2.1 Arena andesítica

Las arenas que se utilizan en la mayoría de los concretos que se elaboran en el

Distrito Federal son de origen piroclásticos, se hallan constituidas principalmente por fragmentos de andesita y toba andesítica de mediano peso específico y con frecuencia exhiben abundante contenido de partículas muy finas, que pasan la malla No. 200, (75 micras).

Como consecuencia de estas características, el concreto que tiene este tipo de arena, tiende a manifestar menos peso volumétrico, más requerimiento de agua de mezclado y mayor contracción por secado de lo usual.

1.3.2.2. Grava andesítica

La grava que tradicionalmente se ha empleado en los concretos del Distrito Federal, es del mismo origen que la arena anterior, es decir, se compone de fragmentos piroclásticos de andesítica, cuyo peso específico es ligeramente inferior al de la arena.

Los efectos indeseables de esta grava en el concreto, corresponden principalmente a su elevada contracción por secado y su bajo módulo de elasticidad.

1.3.2.3 Grava de basalto escoriáceo (lapilli)

Este tipo de grava que también es de origen piroclástico, es menos abundante en la región que la andesítica y por ello, se utiliza con menos frecuencia; como su nombre lo indica, son fragmentos de basalto que por su elevada porosidad tiene bajo peso específico y muy alta absorción. Los concretos hechos con esta grava presentan, en comparación con los de grava andesítica, menos peso volumétrico, contracción por secado del mismo orden y módulo de elasticidad algo mayor.

1.3.2.4 Gravas trituradas

Para suprimir las deficiencias que las gravas anteriores provocan en el concreto, existen gravas que se obtienen por trituración de rocas sanas y densas, si bien su costo es mayor. Las gravas de esta naturaleza con más antigüedad de suministro en el Distrito Federal proceden de la trituración de basaltos densos que se localizan en el Valle de México; sin embargo, debido a que no existen suficientes formaciones locales de esta roca en condiciones de ser explotadas, ha sido necesario acudir a la explotación de bancos de roca calizas, ubicados fuera del Valle de México.

Los concretos elaborados con estas gravas trituradas, calizas y basálticas, presentan valores normales en el peso volumétrico y en el modo de elasticidad. En cuanto a la contracción por secado de estos concretos, no se dispone todavía de suficiente información para juzgarla con objetividad.

1.3.3 Efectos de la ceniza en los concretos ensayados

Se ensayaron tres series de mezclas de concreto con otros tantos tipos de grava, utilizando una sola arena andesítica con 13 % de partículas más finas que la malla No. 200, y cemento portland tipo I. En la primera serie se empleó grava andesítica y se utilizó en alta proporción (50 % del cementante) la fracción fina menor de 45 micras de la ceniza volante integral clasificada con aire. La segunda serie se hizo con grava caliza triturada y se empleó la misma ceniza fina clasificada en la serie anterior, pero en menores proporciones (15 y 30 % del cementante). En la tercera serie de mezclas se utilizó grava de basalto escoriáceo (lapilli) y ceniza combinada en los campos B y C, en alta proporción (56 % del cementante). En todos los casos se limitó a 20 mm el tamaño máximo de la grava.

Serie I.- La primera serie consistió en dos mezclas de concreto con grava andesítica y aditivo superfluidificante, es decir, una mezcla testigo sin ceniza

(S1-1) y una mezcla de prueba (S1-2) con alta proporción de ceniza fina (50 % del cementante) clasificada con aire a un tamaño máximo de 45 micras. El objetivo de esta serie fue comprobar el efecto de la ceniza fina sobre el módulo de elasticidad del concreto hecho con arena y grava andesítica, a fin de comparar este efecto con el observado en pruebas anteriores, en las que mediante el uso de la ceniza volante integral, se logró incrementar de 8 500 a 10 500 aproximadamente, el valor de la relación $E_c / \sqrt{f'c}$ de este concreto.

Los principales datos y resultados de las dos mezclas de esta serie, se resume en la tabla 4. Puede observarse que el concreto con la ceniza fina clasificada, presenta una relación $E_c / \sqrt{f'c}$ a 28 y 90 días, que es aproximadamente 20 % mayor que la del testigo sin ceniza; lo cual parece confirmar que, a igualdad de resistencias, el concreto con estos agregados resulta menos deformable cuando se le incorpora una alta proporción de esta ceniza.

Serie 2.- En la segunda serie se ensayaron cinco mezclas de concreto con grava de caliza triturada, sin utilizar aditivos. La mezcla inicial de esta serie (S2-1) fue testigo sin ceniza, en las dos siguientes mezclas (S2-2 y S2-3), se utilizó la misma ceniza fina de la serie anterior en sustitución de 15 y 30 % del cemento, y en las dos últimas mezclas (S2-4 y S2-5) se empleó esta ceniza como adición de 15 y 30 % al cemento.

En la tabla 5, se presenta la información relativa a composición y resultados de estas cinco mezclas, de donde procede hacer notar lo siguiente:

- a) En todas las mezclas con ceniza se requirió menos consumo de agua de mezclado que en la mezcla testigo sin ceniza.
- b) Excepto el caso en que se sustituyó 30 % del cemento, todos los concretos con ceniza exhibieron resistencias del mismo orden o mayores que las del concreto testigo.
- c) Los módulos de elasticidad y las relaciones $E_c / \sqrt{f'c}$ no mostraron cambios importantes con el uso de la ceniza, excepto con 30 % de sustitución en que hubo cierta disminución.

CONCEPTOS	Mezcla S1-1 (TESTIGO)	Mezcla S1-2 (PRUEBA)
Consumos en el concreto, kg/m^3 :		
Cemento portland tipo I	300	145
Ceniza clasificada (< 45 micras)	-	145
Agua de mezclado	170	158
Aditivo superfluidificante	12	12
Revenimiento, cm	8	8
Resistencias a compresión, kg/cm^2 :		
A 28 días	325	134
A 90 días	367	203
Módulos de elasticidad, kg/cm^2 :		
A 28 días	156 020	120 019
A 90 días	176 510	155 626
Relaciones $E/\sqrt{f'c}$:		
A 28 días	8 654	10 368
A 90 días	9 213	10 923
Peso volumétrico del concreto en estado fresco, kg/m^3	2 178	2 136

TABLA 4 DATOS Y RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE LA SERIE 1, CON GRAVA ANDESITICA Y CENIZA VOLANTE CLASIFICADA CON AIRE

CONCEPTOS	Mezcla S1-1 (TESTIGO)	Mezcla S1-2 (PRUEBA)
Consumos en el concreto, kg/m^3 :		
Cemento portland tipo 1	300	145
Ceniza clasificada (< 45 micras)	-	145
Agua de mezclado	170	158
Aditivo superfluidificante	12	12
Revenimiento, cm	8	8
Resistencia a compresión, kg/cm^2 :		
A 28 días	325	134
A 90 días	367	203
Módulos de elasticidad, kg/cm^2 :		
A 28 días	156 020	120 019
A 90 días	176 510	155 626
Relaciones $E/\sqrt{f'c}$:		
A 28 días	8 654	10 368
A 90 días	9 213	10 923
Peso volumétrico del concreto en estado fresco, kg/m^3	2 178	2 136

TABLA 4 DATOS Y RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE LA SERIE 1, CON GRAVA ANDESITICA Y CENIZA VOLANTE CLASIFICADA CON AIRE

CONCEPCIÓN	MEZCLAS DE CONCRETO				
	S2-1 (11%STICO)	S2-2 (+15%)	S2-3 (+30%)	S2-4 (+15%)	S2-5 (+30%)
Consumos en el concreto, kg/m ³ :					
Cemento portland tipo 1	291	248	208	292	293
Ceniza clasificada (< 45 micras)	-	28	56	28	56
Agua de mezclado	198	197	182	188	191
frecuencia, m	9	9	10	9	9
Peso volumétrico del concreto en estado fresco, kg/m ³	2 278	2 269	2 275	2 278	2 283
Resistencias a compresión, kg/cm ² :					
A 7 días	151	152	102	183	178
A 28 días	194	189	135	210	232
A 63 días	240	232	161	255	289
A 120 días	260	258	194	294	333
Módulos de elasticidad, kg/cm ² :					
A 28 días	250 399	231 372	218 304	242 186	250 395
A 63 días	259 134	269 035	232 810	261 919	289 697
Relaciones $E_c / \sqrt{f'c}$:					
A 28 días	17 798	16 830	18 789	16 712	16 439
A 63 días	16 727	17 663	18 348	16 402	17 041

TABLA 5 DATOS Y RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE LA SERIE 2, CON GRAVA DE CALIZA TRITURADA Y CENIZA CLASIFICADA CON AIRE A 45 MICRAS

En la figura 9, se representa la evolución de la resistencia a compresión de los cinco concretos de esta serie entre 7 y 120 días de edad. Para hacer comparables estas resistencias en función del costo que en cada caso representa su obtención, en la figura 10, se les expresa como resistencias obtenidas por kilogramo de cementante utilizado, equivalente en costo, considerando que la ceniza puesta en el Distrito Federal debe tener un precio unitario (en peso) igual a una tercera parte del precio del cemento. Se observa que en todos los concretos con ceniza, excepto cuando ésta, sustituye 30 % del cemento, se obtienen resistencias superiores a la del testigo por cada kilogramo de cementante equivalente en costo.

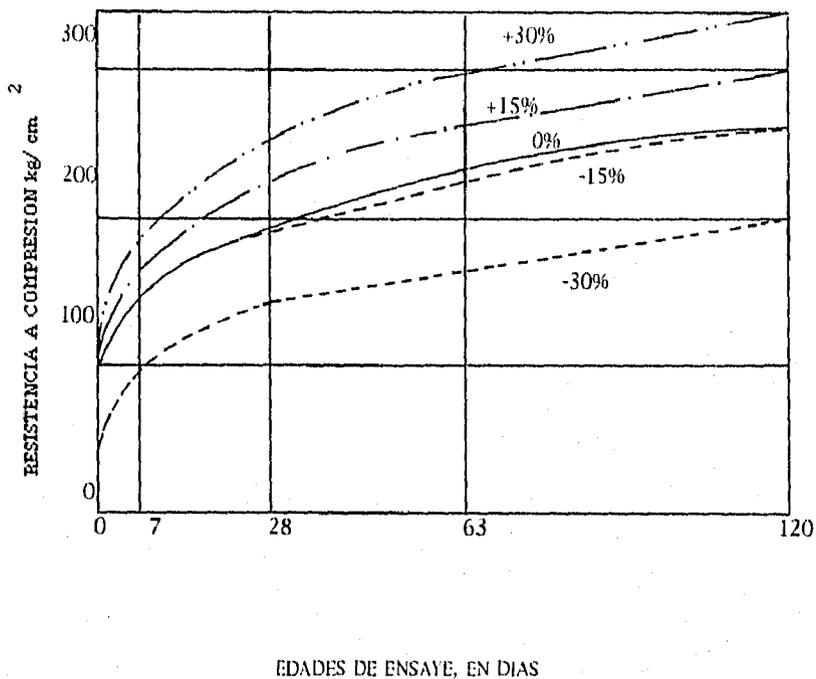


FIGURA 9 - EVOLUCION DE LAS RESISTENCIAS EN LOS CONCRETOS DE LA SERIE 2

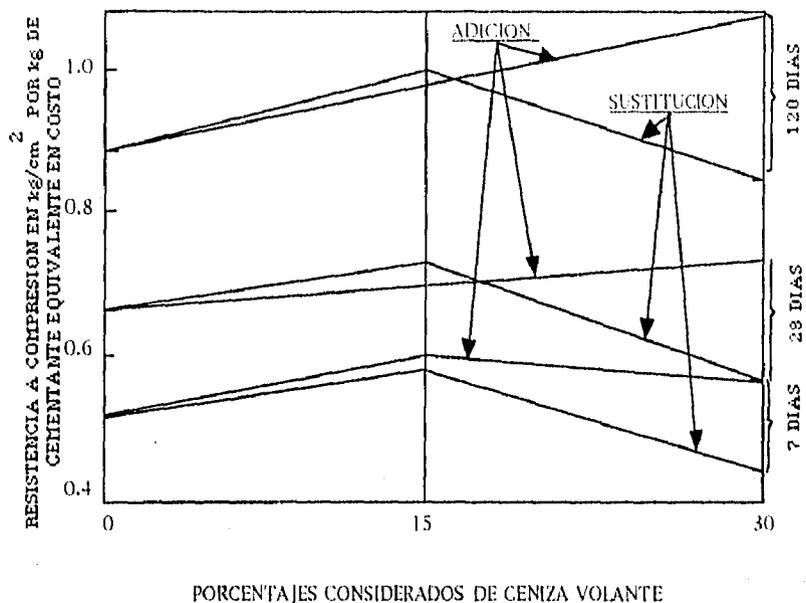


FIGURA 10 RESISTENCIAS COMPARABLES EN COSTO DE CONCRETOS DE LA SERIE 2

Serie 3. El objetivo principal de la tercera serie de mezclas fue similar al de la primera, ésto es, comprobar la influencia de la ceniza en alta proporción sobre el módulo de elasticidad del concreto hecho con grava de lapilli y un aditivo superfluidificante, con la diferencia de utilizar en este caso la ceniza volante combinada de los campos B y C tal como se recuperan.

Esta tercera serie se compuso de tres mezclas: un primer testigo sin ceniza y aditivo, un segundo testigo sin ceniza, con aditivo superfluidificante y una

mezcla de prueba con ceniza de los campos B y C en alta proporción (56 % del cementante) y el mismo aditivo.

Los datos y resultados de estos concretos, incluyendo su contracción por secado, se hallan expuestos en la tabla 6. Las observaciones pertinentes se indican a continuación:

- a) La inclusión de la ceniza mejoró la cohesión y manejabilidad de las mezclas sin ceniza que, por la aspereza de la grava lapilli, mostraron cierta deficiencia en este aspecto.
- b) Las resistencias iniciales más altas correspondieron al segundo testigo sin ceniza con aditivo, pero a los 90 días, éste fue superado por el concreto con ceniza.
- c) El módulo de elasticidad a 28 días del concreto con ceniza fue prácticamente igual que el segundo testigo, es decir, no se manifestó un cambio significativo de la deformabilidad de este concreto por efecto de la ceniza.
- d) La contracción por secado del concreto con ceniza fue significativamente menor que las manifestadas por los dos testigos sin ceniza. Para apreciar este efecto positivo, en la figura 11, se presenta gráficamente las contracciones por secado de estos concretos hasta los 90 días de prueba.

CONCEPTOS	S3-1 HSH1601	S3-2 HSH1602	S3-3 PRUEBA
Consumos en el concreto, Kg/cm ³ :			
Cemento portland tipo I	349	309	199
Ceniza Volante, campos B y C	-	-	253
Agua de mezclado	202	162	159
Aditivo superfluidificante	-	6	0
Revestimiento, cm.	11	10	10
Cohesión y manejabilidad (juicio)	Deficiente	Aceptable	Buena
Resistencia a compresión, Kg/cm ² :			
A 7 días	206	303	161
A 28 días	286	403	357
A 90 días	333	497	487
Modulo elasticidad 28 días, Kg/cm ²	195 403	216 680	217 544
Relación E / v'c' a 28 días	11 554	10 794	11 514
Contracción por secado, 10 ⁻⁶ :			
A 28 días	355	350	270
A 60 días	570	430	306
A 90 días	575	445	310

TABLA 6 DATOS Y RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE LA SERIE 3 CON GRAVA DE LAPILLI Y CENIZA VOLANTE DE LOS CAMPOS B y C

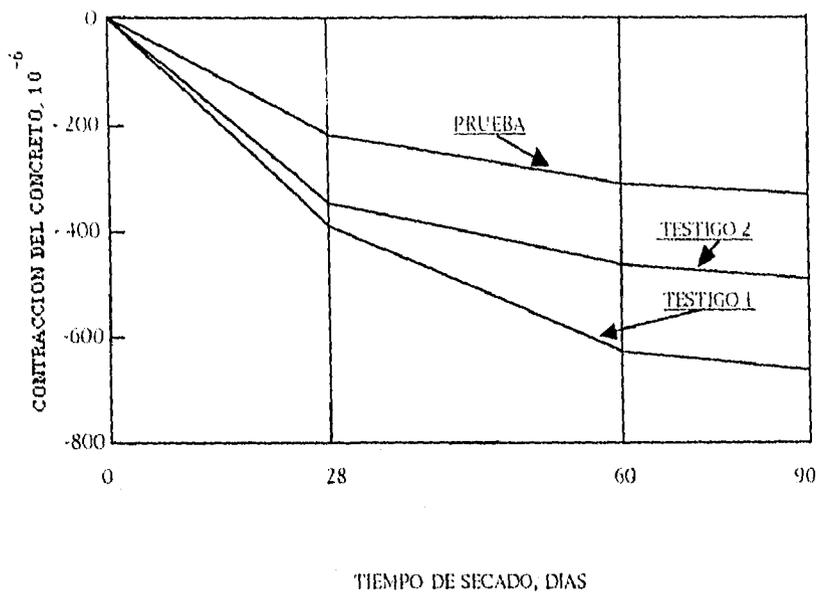


FIGURA 11 CONTRACCIONES POR SECADO DE LOS CONCRETOS DE LA SERIE 3

Tanto la fracción fina (menor de 45 micras) de la ceniza volante integral clasificada con aire, como la ceniza volante combinada de los campos B y C, se desempeñaron satisfactoriamente en el concreto, como era de esperarse en función de su elevada finura, la forma esférica de sus partículas y su buena actividad puzolánica.

Los principales efectos positivos producidos por esta ceniza en los concretos ensayados, fueron:

- 1) Disminución en el requerimiento de agua de las mezclas hechas con los tres

tipos de gravas.

- 2) Mejoría en la cohesión y manejabilidad de las mezclas elaboradas con grava de basalto escoriáceo (lapilli).
- 3) A igualdad de resistencias, reducción de la deformabilidad del concreto hecho con grava andesítica.
- 4) Mayor eficiencia por kilogramo de cementante, equivalente en costo, para producir resistencia a todas las edades en concretos con grava de caliza triturada.
- 5) Reducción de la contracción por secado del concreto fabricado con grava de basalto escoriáceo (lapilli).

Se considera que estos efectos merecen ser tomados en cuenta, y confirmados mediante mayor número de pruebas, ya que pueden representar importantes beneficios técnicos y económicos para concretos como los ensayados. En particular, se estima que esta ceniza puede ser un instrumento útil para ayudar a cumplir los requisitos previos para el concreto en la nueva versión del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal.

CAPITULO 2

ESTUDIOS GEOTECNICOS

CAPITULO 2 ESTUDIOS GEOTECNICOS

2.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

2.1.1 Generalidades

Se comprende bajo el nombre genérico de laderas naturales, a las superficies inclinadas con respecto a la horizontal que se han formado sin la intervención humana, reservando el nombre de talud artificial, para las formaciones hechas por el hombre.

Aún cuando las laderas naturales pueden plantear y de hecho plantean problemas que pueden llegar a ser de vital importancia, en este trabajo se tratan en forma predominante los taludes artificiales.

Es esencial analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales, cual será la inclinación más adecuada para que la estructura se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Tanto por el aspecto de inversión, como por el de consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado al ser proyectadas.

Sin embargo, no existe un método general de análisis aplicable a todos los taludes, casi todos los métodos se basan en un estado límite de falla, que consiste en imaginar un mecanismo de falla para el talud (la forma específica de este mecanismo de falla se busca frecuentemente en la experiencia) y en aplicar a tal mecanismo, los criterios de resistencia del material, de manera de ver si, con tal resistencia, hay o no posibilidad de que el mecanismo supuesto llegue a presentarse. En taludes siempre se ha imaginado que la falla ocurre como deslizamiento de la masa de suelo, actuando como un cuerpo rígido, a lo largo de una superficie de falla supuesta y se admite que el suelo desarrolla en todo

punto de la superficie de falla la máxima resistencia que se le considere.

2.1.2 Tipos de fallas más comunes

El concepto de "falla de talud" se debe comprender como el deslizamiento de una masa de suelo, sobre una superficie cualquiera, sin olvidar que; se pueden presentar diferentes formas de fallas, y que como tales deben ser estudiadas y tratadas. Se presentan a continuación los tipos de fallas más frecuentes y comunes en taludes artificiales.

2.1.2.1 Falla rotacional

Se describen ahora los movimientos que pueden ocurrir en los taludes, y afectan grandes masas de suelo. Se considera que la superficie de falla se desarrolla cuando el material ha rebasado su resistencia máxima, causada por un incremento en los esfuerzos cortantes actuantes en el interior de la masa de suelo, lo que genera la superficie de falla.

La superficie de falla se asemeja a una superficie curva, cuya traza forma con el papel a una circunferencia, las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud, sin interesar el terreno de cimentación o pasando adelante del pie, afectando al terreno en que el talud se apoya (falla de base). Además pueden presentarse las llamadas fallas locales, que ocurren en el cuerpo del talud, pero interesando zonas relativamente superficiales. En la figura 12 se presentan estos tipos de fallas, así como la nomenclatura usual en taludes simples.

2.1.2.2 Falla traslacional

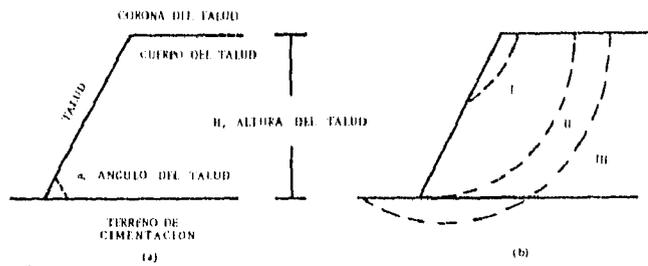
Son movimientos bruscos que afectan a masas considerables de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. Estos fenómenos reciben comúnmente el nombre de deslizamientos de tierras.

Este tipo de fallas ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo o en su terreno de cimentación. Estos planos débiles suelen ser horizontales o muy poco inclinados respecto a la horizontal.

Con mucha frecuencia el debilitamiento de la superficie de falla está asociada a altas presiones de poro en el agua contenida en la masa de suelo del estrato débil o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena (acuíferos), fenómenos íntimamente relacionados con las estaciones climáticas, de la región. La figura 13, muestra una falla típica de esta naturaleza.

2.1.2.3 Fallas con superficie compuesta

Este tipo de fallas son aquellas en las que se presentan las fallas rotacionales y traslacionales. En la mayoría de los casos, la superficie de falla que predomina, es lo que determina el tipo de falla que se le asocia, dejando el término de falla con la superficie compuesta a aquellas en las que son prácticamente iguales la longitud de falla circular y la plana. La figura 14, muestra fallas típicas de esta naturaleza.



- a) NOMENCLATURA
 b) FALLAS POR ROTACION
 I LOCAL
 II POR EL PIE DEL TALUD
 III DE BASE

FIGURA 12 NOMENCLATURA Y FALLAS EN EL CUERPO DEL TALUD

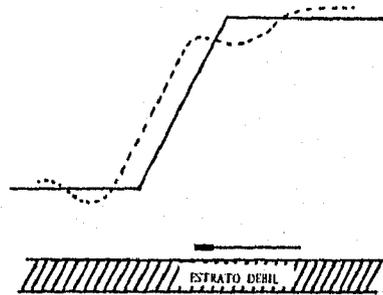


FIGURA 13 FALLA POR TRASLACION SOBRE UN PLANO DEBIL.

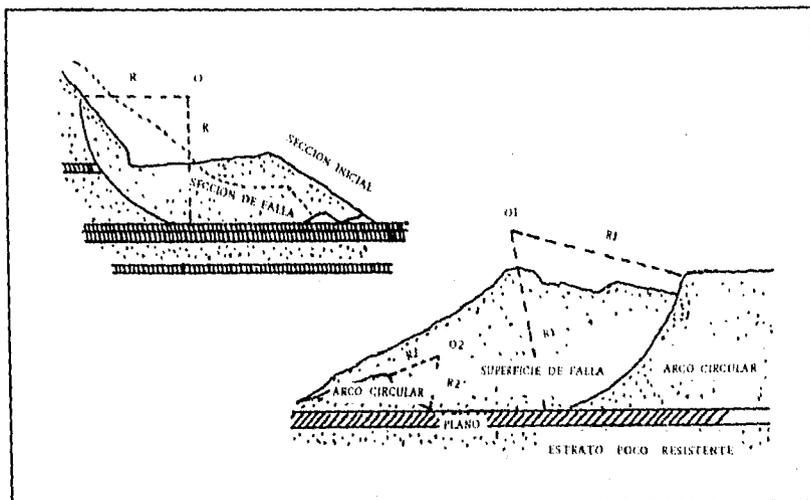


FIGURA 14 FALLAS COMPUESTAS

2.1.2.4 Fallas múltiples

Este tipo de fallas se producen con varias superficies de deslizamiento, sean simultáneas o en rápida sucesión. Existen 2 tipos diferentes; y ambas son comunes a laderas naturales en las que se practica un corte.

2.1.2.4.1 Fallas regresivas

Son fallas que se forman a partir de una primera (la situada ladera abajo), por la inestabilidad en que sucesivamente van quedando las zonas de cabeza de cada falla que se forma. Todas las superficies de falla son concurrentes a una fundamental. Pueden existir del tipo rotacional ó traslacional.

2.1.2.4.2 Fallas sucesivas

Suelen consistir en un conjunto de deslizamientos rotacionales superficiales; son características de las últimas etapas de degradación en laderas de arcilla sobreconsolidada ó fisurada. A veces las fallas forman un escalonamiento sumamente regular. La figura 15, muestra los tipos de fallas múltiples.

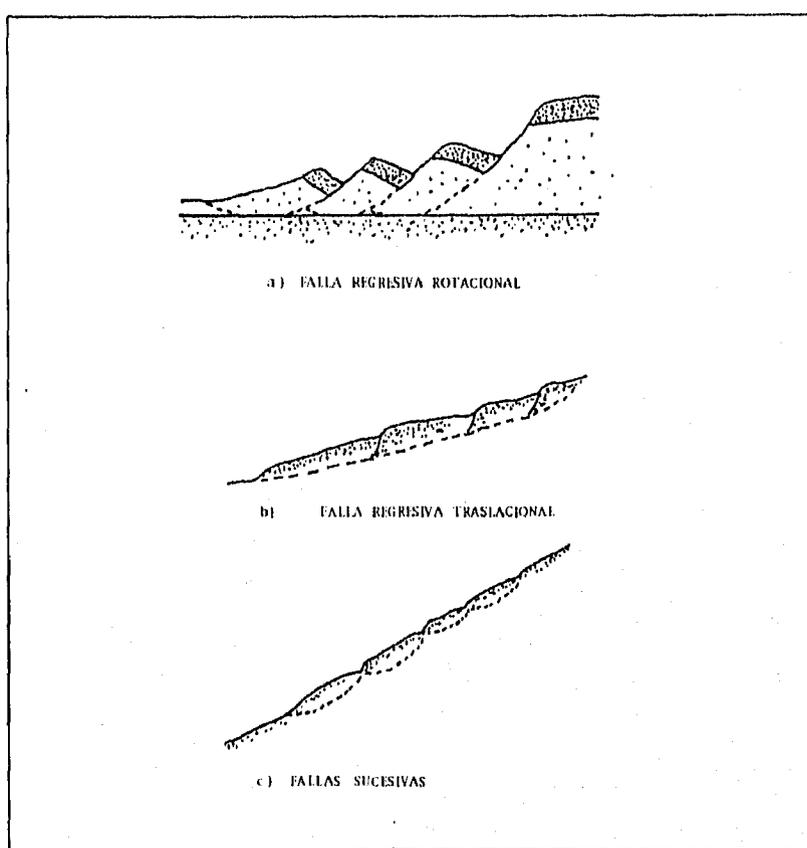


FIGURA 15 FALLAS MULTIPLES

2.1.2.5 Derrumbes y caídos

Consisten en desprendimientos locales de escaso volumen, aunque naturalmente, existen grandes desprendimientos de masas, que deben clasificarse como derrumbes; en este tipo de fallas, no puede hablarse de una superficie de deslizamiento, y el desplazamiento, suele estar predeterminado por discontinuidades, fracturas y/o fisuras persistentes.

Los derrumbes y caídos, están generalmente asociados a cantiles o cortes escarpados, y con mucha frecuencia a las arcillas fuertemente sobreconsolidadas, excluyendo a las rocas.

2.1.2.6 Fallas por erosión

Estas fallas son de tipo superficial, provocadas por fenómenos climatológicos, como son los arrastres de viento, agua, etc. Una manifestación típica del fenómeno, suele ser la aparición de irregularidades en el talud originalmente uniforme, como son los socavones, las canalizaciones, etc.

2.1.2.7 Fallas por tubificación

La tubificación comienza con el arrastre de las partículas sólidas del suelo, en el interior de la masa, por efectos de las fuerzas erosivas del agua. Una vez que las partículas empiezan a ser removidas, se van formando pequeños canales por los que el agua circula cada vez con mayor velocidad, y con mayor poder de arrastre, por lo que el fenómeno de tubificación tiende a crecer, hasta que se da el fenómeno del colapso del terraplén. Una característica curiosa es que, comenzando en la cara expuesta del talud, progresa hacia atrás, es decir hacia el interior del talud.

2.1.2.8 Fallas por agrietamiento

Este tipo de fallas son provocadas principalmente por los cambios volumétricos de las partículas de suelo (provocados por los efectos del intemperismo), asociados a la presencia y ausencia de agua, causadas por efectos climáticos (lluvia y sol), es decir al humedecimiento y secado de la cara expuesta del talud; el fenómeno termina con pequeños derrumbes y caídos. Otra causa a la que se puede asociar la presencia de grietas, es a movimientos diferenciales dentro del talud, ocasionados también por distinto grado de secado entre los materiales cercanos a los hombros y taludes, (y el terreno de cimentación).

2.1.2.9 Fallas por licuación

Estas fallas ocurren cuando en la zona del deslizamiento, el suelo pasa rápidamente de una condición más o menos firme a la correspondiente a una suspensión, con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante. Existen dos causas principales por las que pueden presentarse los fenómenos de licuación: por incremento de los esfuerzos cortantes actuantes y desarrollo correspondiente de presiones de poro o el desarrollo de elevadas presiones en el agua intersticial, quizá como consecuencia de un sismo, una explosión etc. Esta segunda causa se asocia a un colapso estructural rápido de suelo, cuyos vacíos saturados de agua, tienden a reducirse demasiado, desarrollándose presiones en ella.

2.1.3 Métodos de cálculo de estabilidad de taludes

No todos los mecanismos de falla presentados hasta ahora, pueden representarse en un modelo matemático que pueda servir de base a un método de cálculo. Algunas de las más comunes y peligrosas formas de falla (flujos, erosión

tubificación, etc.) no se pueden analizar numéricamente. Existen varios métodos de cálculo de estabilidad de taludes, a continuación se mencionan solo algunos de ellos.

2.1.3.1 Método sueco

Bajo el título genérico de método sueco, se comprenden todos los procedimientos de análisis de estabilidad de taludes, asociados a fallas de tipo rotacional. El método en general es aplicable a varias condiciones de análisis, tanto en geometría del talud, como en estratigrafía del mismo.

2.1.3.1.1 Método sueco en suelos cohesivos

En caso de suelos puramente cohesivos, se tiene un método de análisis bastante sencillo, debido al Doctor A. Casagrande, en el que la resistencia al esfuerzo cortante sigue la ley:

$$s = c$$

Donde:

- s = Resistencia al esfuerzo cortante
- c = cohesión del material

El procedimiento que a continuación se describe es aplicable a fallas de base, de pie y locales. Considérese la figura 16, en la que no se consideran sobrecargas: la masa que tiende a deslizarse es la "ABCD", cuyo peso es "w", y la fuerza que se opone al deslizamiento es la cohesión "C", desarrollada a lo largo de la superficie supuesta de falla.

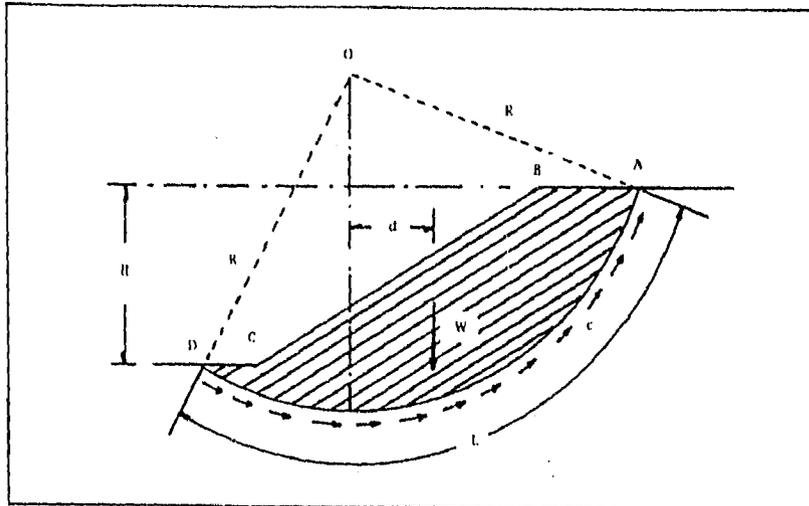


FIGURA 16 PROCEDIMIENTO DE CASA GRANDE PARA EL METODO SUECO EN SUELOS COHESIVOS

Ahora bien, el momento de fuerzas respecto a un eje normal a través de "O", es:

$$M_m = \sum w d$$

Que es llamado momento motor y es el que tiende a producir el movimiento de la masa. Las fuerzas resistentes las generará la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de toda la superficie de falla supuesta y su momento motor, con relación al mismo polo "O", será:

$$M_r = C L R$$

Donde:

- C = Cohesión del material
- L = Longitud del arco del círculo analizado
- R = Radio del círculo analizado

Denominado momento resistente y es el que se opone al movimiento de la masa de suelo. En el instante de falla incipiente se tiene:

$$\Sigma wd = CLR$$

Si se define ahora un factor de seguridad, se obtiene:

$$FS = Mr / Mm$$

o bien:

$$FS = CLR / wd$$

En este tipo de análisis es conveniente emplear un factor de seguridad mayor o igual a 1.5, para garantizar la estabilidad del talud. Desde luego no existe ninguna garantía de que el círculo escogido para efectuar el análisis sea el que conduce al factor de seguridad mínimo, por lo que el procedimiento anterior desembocará en un cálculo a base de tanteos, en el que se probará el número suficiente de círculos, hasta obtener una garantía razonable de haber encontrado el que produce el mínimo factor de seguridad susceptible de presentarse (círculo crítico).

2.1.3.1.2 Método sueco en suelos cohesivo-friccionantes

El análisis de estabilidad en este tipo de suelo, se basa en la ley de resistencia al esfuerzo cortante definida como:

$$S = C + \sigma \tan \phi$$

Donde:

- S = Resistencia al esfuerzo cortante
- C = Cohesión del material
- σ = Esfuerzo normal aplicado
- ϕ = Angulo de fricción interna del material

La aplicación del método sueco, en este tipo de suelo es debido a Fellenius, quien propone como primer paso elegir una posible superficie de falla, y luego la superficie de falla deslizante se divide en dovelas, del modo mostrado en la figura 17 a. El equilibrio individual de cada dovela, se analiza de acuerdo al diagrama de la figura 17 b, en la que "w" es el peso de la dovela i-ésima, N_i y T_i son las fuerzas normal y tangencial desarrolladas en la superficie de deslizamiento, P_1 , P_2 , T_1 y T_2 son fuerzas debidas a la interacción de las dovelas. De acuerdo a las hipótesis de Fellenius P_1 , y P_2 se suponen colineales, contrarias y de igual magnitud, se acepta también que el momento producido por las fuerzas T_1 y T_2 que se consideran de igual magnitud, es despreciable por lo tanto no se toman en cuenta en el análisis.

El cociente $N_i/\Delta L_i$, se considera una buena aproximación de la presión normal actuante en la base de la dovela. Con las hipótesis anteriores el momento motor producido por la dovela es:

$$M_m = R \sum T_i$$

Donde:

R = Radio del círculo de falla.

$\sum T_i$ = Sumatoria de las fuerzas tangenciales en la base de la dovela.

Y por otro lado el momento resistente; debido a la resistencia al esfuerzo cortante en la superficie de falla vale:

$$M_r = R \sum S_i * \Delta L_i$$

de aquí se obtiene un factor de seguridad:

$$FS = \sum S_i * \Delta L_i / \sum T_i$$

El procedimiento de análisis es un procedimiento de iteraciones en el cual deben fijarse distintos círculos de falla, calculando el "FS" ligado a ellos, hasta tener la seguridad de obtener el "FS" mínimo ligado al talud.

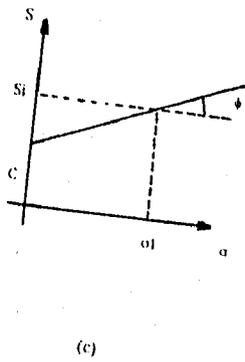
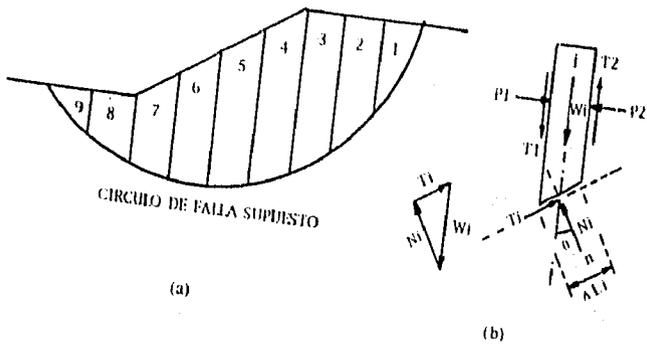


FIGURA 17 METODO SUECO EN SUELOS COHESIVOS - FRICCIONANTES

2.1.3.2 Método de Bishop simplificado

2.1.3.2.1 Condiciones estáticas

Supóngase una sección de talud, limitada por una superficie de falla circular como la mostrada en la figura 18, donde se considera un espesor unitario normal a la traza del papel. Para el equilibrio de la masa de suelo, se requiere que el momento de las fuerzas actuantes, debe ser igual al momento generado por las fuerzas resistentes. Expresando en términos matemáticos, lo anterior puede expresarse como:

$$\sum wx = \sum SR = \sum SiR \dots\dots 1$$

donde; la resistencia al esfuerzo cortante "Si" movilizado en la base de la dovela, queda definida por:

$$Si = \tau = (C' + (P-U) \tan \phi') / F \dots\dots 2$$

donde:

- τ = resistencia al esfuerzo cortante
- C' = cohesión efectiva
- P = presión normal actuante en la superficie de falla
- U = presión de poro
- ϕ' = ángulo de fricción interna efectivo
- l = longitud de la dovela

sustituyendo (2) en (1), con $X = R \cdot \sin \alpha$

$$FS = \sum (C' + (P-U) \cdot \tan \phi') / (\sum w \cdot \sin \alpha) \dots\dots 3$$

El problema ahora es definir "P", la cual es estáticamente indeterminada. Resolviendo primero para la superficie circular, tenemos:

$$P = (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \dots\dots 4$$

sustituyendo (4) en (3) :

$$F = [C' + \tan \phi' (W \cos \alpha - U) + \tan \phi' ((X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha)] / \sum W \sin \alpha \dots\dots 5$$

Entonces, si en la ecuación (5), el término $\sum \tan \phi' ((X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha)$ se asume que sea cero se tiene:

$$F = [C' + \tan \phi' (W \cos \alpha - U)] / \sum W \sin \alpha \dots\dots 6$$

Esta es la ecuación del método convencional de Bishop. Por otra parte; tomando en cuenta el diagrama de fuerzas de la figura 19, y resolviendo verticalmente, se tiene:

$$P' = P - ul = \frac{[W + (X_n - X_{n+1}) - l(u \cos \alpha + c' \sin \alpha / F)]}{(\cos \alpha + \tan \phi' \sin \alpha / F)} \dots\dots 7$$

Sustituyendo (7) en (3) con $l = b \sec \alpha$ y organizando términos:

$$FS = \sum [C' b + (w - Ub + X_n - X_{n+1}) \tan \phi' \sec \alpha / (1 + \tan \phi' \tan \alpha / FS)] / \sum w \sin \alpha \dots\dots 8$$

La ecuación anterior, es conocida como la del método riguroso de Bishop, y generalmente, solo se emplea para trabajos de investigación. Al despreciar el término $(X_n - X_{n+1})$, Bishop encontró que el valor de "FS" sufría poca influencia, del orden del 2 al 3 %, por lo que recomendó que en la práctica la ecuación 8 se modificará a:

$$FS = \sum [C' b + (w - Ub) \tan \phi' \sec \alpha / (1 + \tan \phi' \tan \alpha / FS)] / \sum w \sin \alpha \dots\dots 9$$

La ecuación (9) es conocida como la del método de Bishop simplificado, utilizada frecuentemente en la práctica para los análisis de taludes con superficie de falla circulares. El proceso consiste en hacer una estimación inicial del factor de seguridad, el cual se sustituye en la parte derecha de la ecuación 9, se realizan los cálculos y se obtiene un "FS"; el cual se compara con el inicial

estimado, y si no son iguales se repite el proceso con un nuevo valor de factor de seguridad; usualmente se sustituye el valor obtenido en la primera iteración en el siguiente cálculo, si la diferencia entre ambos no es muy importante. El proceso se repite el número de veces que sea necesario, hasta encontrar que la diferencia entre el "FS" propuesto y el "FS" obtenido, sea despreciable. En dicho momento se registra el resultado final de este valor y se procede a analizar otros círculos de falla, haciendo variar el radio y/o la posición del centro "O". El procedimiento se repite para cada uno de los círculos en la forma señalada y finalmente, se define como factor de seguridad del talud al mínimo valor obtenido de todos los círculos anteriores.

2.1.3.2.2 Condiciones dinámicas

Debido a que una gran parte del territorio de nuestro país se localiza en zona sísmica, es usual que los análisis de estabilidad de taludes en nuestro medio, se efectúen para condiciones sísmicas. Lo anterior, puede lograrse utilizando la expresión de Bishop simplificado, en la cual se adapta a una aproximación pseudo-estática. Dicha aproximación consiste en aplicar una fuerza horizontal en el centro de gravedad de la dovela en consideración, cuyo valor es un porcentaje de la aceleración inducida por sismo respecto a la gravedad. Dicho en otras palabras, se supone que es posible definir un coeficiente sísmico "k", que al multiplicarse por el peso "w" de la dovela, genera una fuerza "kw", cuya dirección se asocia normalmente a la horizontal. Debe tomarse en cuenta que dicha fuerza actúa por períodos muy cortos y que cambia de signos o sentido con una frecuencia que corresponde a la del sismo. Mediante un procedimiento análogo al descrito para condiciones estáticas y tomando como base las figuras 20 y 21, se obtiene:

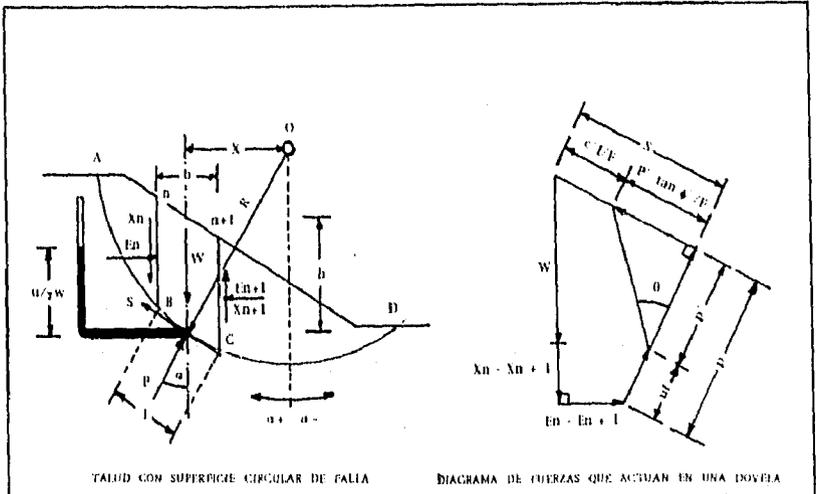
$$FS = \frac{\sum [C' + (w - U_b) \tan \phi] \sec \alpha / (1 + (\tan \phi' \tan \alpha / FS))}{(\sum w \sin \alpha + \sum kw (\cos \alpha - h/2R))} \dots 10$$

Donde las literales tienen el significado empleado anteriormente. La ecuación (10) es la de Bishop simplificado para condiciones sísmicas, definida mediante un proceso pseudo-estático. La solución de la ecuación se efectúa en forma

similar a la del caso estatico, es decir, por aproximaciones sucesivas y es necesario introducir en el calculo el radio del círculo (R), la altura de la dovela (h) y el coeficiente sísmico (k).

Donde:

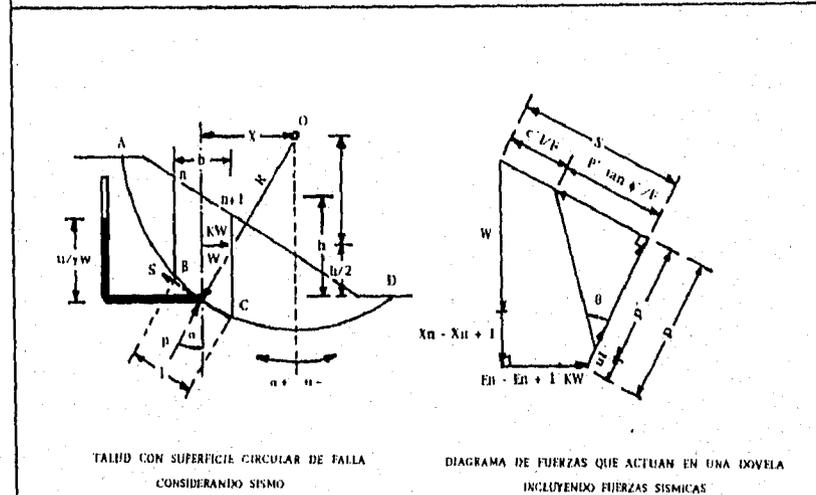
- E_n, E_{n+1} = Resultante de las fuerzas horizontales en las secciones n y n+1
- X_n, X_{n+1} = Resultante de las fuerzas verticales cortantes
- W = Peso total de la dovela
- P = Fuerza normal en la base de la dovela
- S = Fuerza cortante en la base de la dovela
- h = Altura de la dovela
- b = Ancho de la dovela
- l = Longitud BC
- α = Angulo entre BC y la horizontal
- x = Distancia horizontal del centro de la dovela al centro de rotación



TALUD CON SUPERFICIE CIRCULAR DE FALLA

DIAGRAMA DE FUERZAS QUE ACTUAN EN UNA DOVELA

FIGURA 18 Y 19



TALUD CON SUPERFICIE CIRCULAR DE FALLA
CONSIDERANDO SISMO

DIAGRAMA DE FUERZAS QUE ACTUAN EN UNA DOVELA
INCLUYENDO FUERZAS SISMICAS

FIGURA 20 Y 21

2.1.4 Métodos correctivos para fallas en laderas y taludes

A continuación, se indican algunos de los métodos que han comprobado su valor práctico, para mejorar la estabilidad de taludes cuyas condiciones originales no son satisfactorias.

2.1.4.1 Tender taludes

A primera vista quizá pudiera pensarse que esta solución sea la más obvia y sencilla en la práctica. Sin embargo, ha de tomarse con el debido cuidado desde el punto de vista teórico y muchas veces es irrealizable prácticamente hablando.

Si el terreno constituyente del talud es puramente friccionante la solución es indicada, pues, la estabilidad de estos suelos es fundamentalmente cuestión de inclinación en el talud; tendiendo a éste convenientemente, se adquiere la estabilidad deseada. En suelos cohesivos, por el contrario, la estabilidad del talud está condicionada sobre todo por la altura del mismo y la ganancia al tender el talud es siempre escasa y en ocasiones, nula. En suelos con cohesión y fricción, el tender el talud producirá un aumento en la estabilidad general.

Por otra parte, muchos requisitos prácticos, tales como invasión de zonas urbanas, condiciones económicas emanadas del movimiento de grandes volúmenes de tierra, etc., hacen imposible al proyectista el pensar en tender los taludes de los terraplenes, en gran cantidad de casos prácticos.

La figura 22, muestra el procedimiento descrito anteriormente.

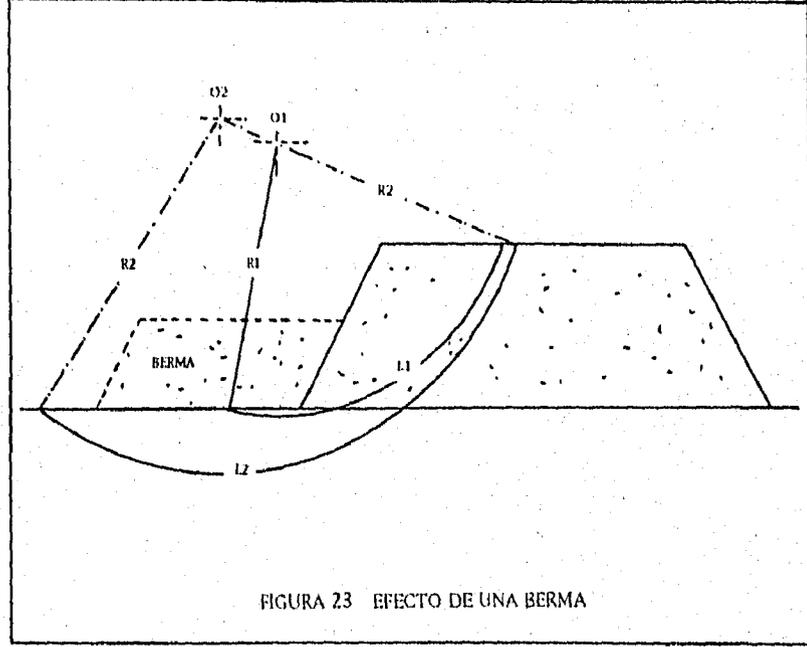
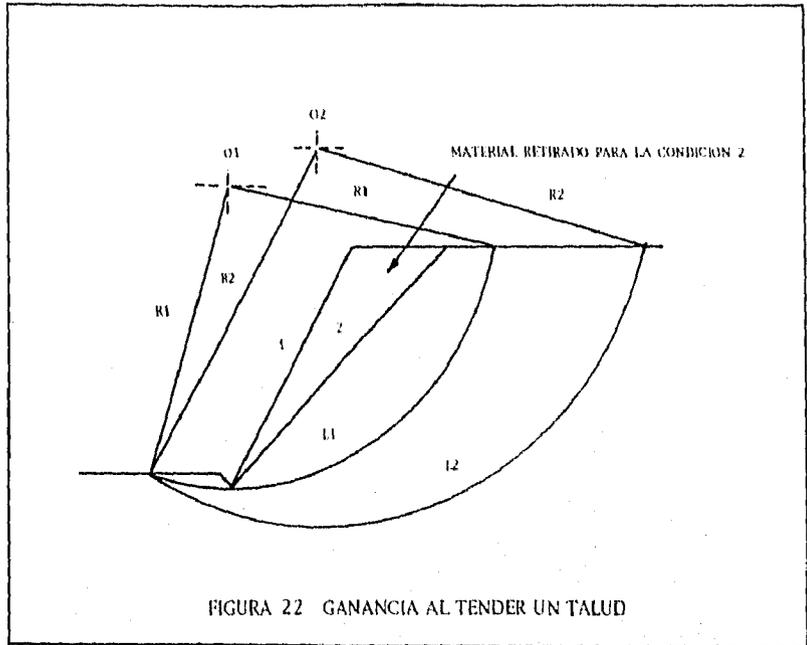
2.1.4.2 Empleo de bermas

Se denominan bermas, a masas generalmente del mismo material que el propio talud, que se colocan adecuadamente en el lado exterior del mismo a fin de aumentar su estabilidad.

En general una berma produce un incremento en la estabilidad por dos motivos. Uno, por su propio peso, en la parte que queda hacia fuera de la vertical que pasa por el centro del círculo de falla, disminuyendo el momento motor. Otro, que aumenta el momento resistente, por el incremento en la longitud del arco de falla por efecto de la propia berma.

Otro efecto importante de la bermas, a veces de gran utilidad estriba en la redistribución de esfuerzos cortantes que su presencia produce en el terreno de cimentación. En efecto, en ciertas zonas de éste se producen concentraciones de tales esfuerzos que pueden ser muy perjudiciales, sobre todo en terrenos arcillosos altamente sensibles; la presencia de la berma hace que la distribución de esfuerzos sea más favorable y que un mayor volumen del terreno de cimentación coopere a resistir tales esfuerzos.

En los cálculos prácticos ha de tenerse en cuenta que la presencia de la berma modifica la ubicación de la superficie de falla crítica, por lo que su colocación exige un nuevo cálculo de la estabilidad del nuevo talud protegido por la berma. La experiencia ha demostrado que es una buena base para los tanteos el suponer un ancho de berma del orden de la mitad de la base del terraplén y una altura tal que el peso de la berma dé un momento igual al requerido para alcanzar en el talud original el factor de seguridad deseado. A partir de este principio se procederá por tanteos hasta fijar la berma mínima que cumpla su cometido, ver figura 23.



2.1.4.3. Consolidación previa

Cuando los suelos de cimentación de terraplenes sean mantos compresibles saturados de baja resistencia al esfuerzo cortante, puede inducirse un proceso de consolidación, que aumente la resistencia del material. La consolidación puede ser mediante la colocación de drenes verticales o bien con la construcción del terraplén por etapas, esperando que la etapa anterior dé al suelo la consolidación necesaria, para proseguir con la colocación del material de la segunda etapa, y así sucesivamente hasta lograr la consolidación necesaria para que aumente la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, ver figura 24.

2.1.4.4 Empleo de muros de retención

Cuando un talud es en sí inestable, se ha recurrido con cierta frecuencia a su retención por medio de un muro. La solución propuesta en este apartado tiene que manejar con reserva dos aspectos principales; el primero de ellos es que se debe tener especial atención, de que el muro sea desplantado por debajo de la superficie de falla crítica del talud y, el segundo es el aspecto de drenaje interno del talud, ver figura 25.

2.1.4.5 Precauciones de drenaje

La principal y la más frecuente causa de problemas derivados de la estabilidad de taludes en obras de ingeniería es, sin duda la presencia de agua tanto en el interior como en el exterior del talud. Es por ello que debe tenerse especial cuidado al proyectar obras de drenaje que eliminen las filtraciones y el flujo. Las estructuras comunes tales como cunetas, contracunetas, drenes, alcantarillas, etc., han demostrado ser indispensables en el adecuado y satisfactorio funcionamiento de los taludes, ver figura 26.

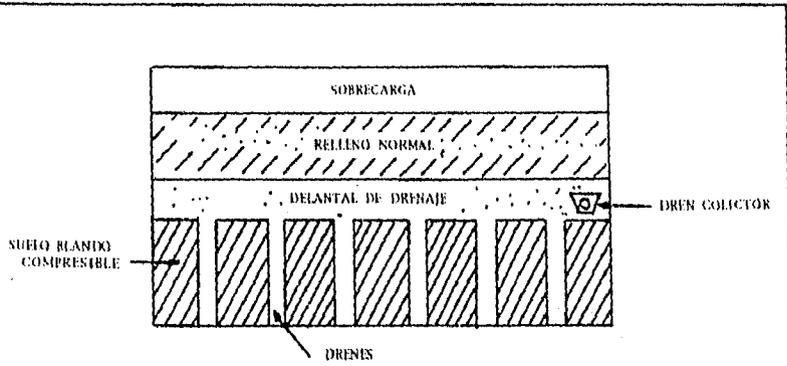


FIGURA 24 CONSOLIDACION PREVIA

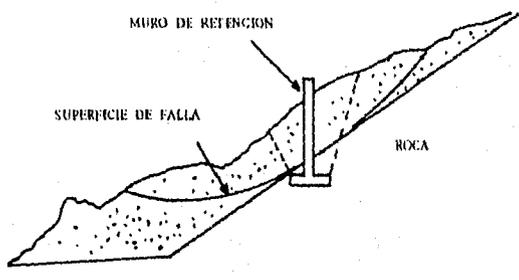


FIGURA 25 EMPLEO DE MURO DE RETENCION

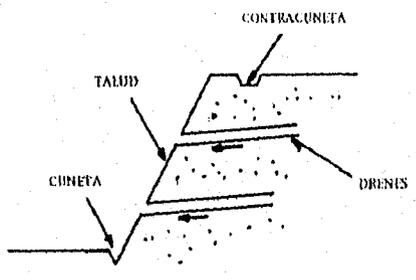


FIGURA 26 PRECAUCIONES DE DRENAJE

2.1.4.6 Empleo de contrapesos al pie de la falla

Este método correctivo es semejante a la de las bermas, pero el material que forma el contrapeso, generalmente es de mayor peso volumétrico, y busca balancear el efecto de las fuerzas motoras, incrementando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo subyacente. Dos condiciones importantes que se deben cuidar son; en primera que el talud cuente con una superficie adecuada para que se pueda colocar el contrapeso; y en segunda que el suelo subyacente cuente con una resistencia suficiente para soportar el peso del contrapeso, ver figura 27.

2.1.4.7 Anclajes

Estos métodos de anclaje, creados originalmente para rocas fundamentalmente intactas, han tenido un desarrollo muy espectacular en los últimos años, su uso se extiende hoy a formaciones mucho más fragmentadas y meteorizadas, así como a suelos. Casi todos los tipos de anclaje que se han desarrollado, se pueden clasificar en dos tipos principales:

Las anclas de tensión son generalmente barras que se introducen en una perforación previamente hecha y que poseen en su extremo enterrado un expansor, elemento que se hace crecer en sección transversal una vez puesta el ancla en su lugar, para crear una restricción muy fuerte contra la extracción de la barra.

El otro tipo de anclas denominado de fricción, consiste en la colocación de una varilla de anclaje en una perforación hecha en el material por anclar, a la varilla de anclaje se adosa un tubo de calibre suficiente para inyectar a su través, lechada de cemento en la perforación, de modo que la varilla queda embebida en dicha lechada y el contacto con el suelo, se hace a través de ese elemento. La varilla puede tener un expansor, como el de las anclas de tensión o un sistema de anzuelo que le de adherencia con la lechada.

Adicionalmente a cualquier sistema de anclaje se le puede colocar una losa de concreto lanzado, reforzado con malla electrosoldada, ver figura 28.

2.1.4.8 Empleo de vegetación

Es un método correctivo a la vez que preventivo, porque se acepta que la vegetación cumple dos funciones primordiales: en primer lugar disminuye la cantidad de agua en la parte superficial y en segundo, da consistencia a esa parte. La experiencia ha demostrado que es más efectivo tender pasto y plantas herbáceas en la cara del talud a protegerse, que la plantación de matas en zonas aisladas; porque da pauta al desarrollo del escurrimiento y de la infiltración. Otro aspecto importante de la colocación del pasto, es evitar la formación de grietas de contracción en los suelos que estarían expuestos de no existir la cobertura.

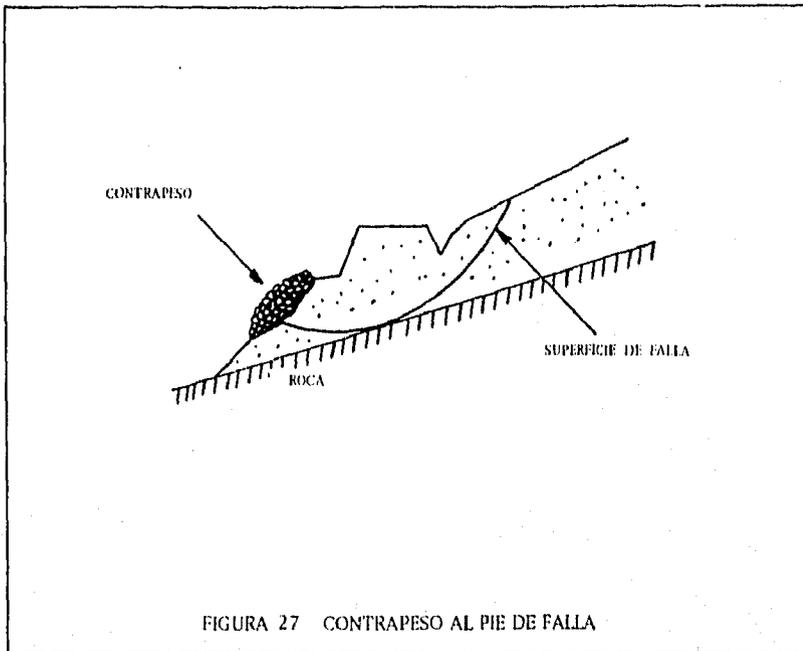


FIGURA 27 CONTRAPESO AL PIE DE FALLA

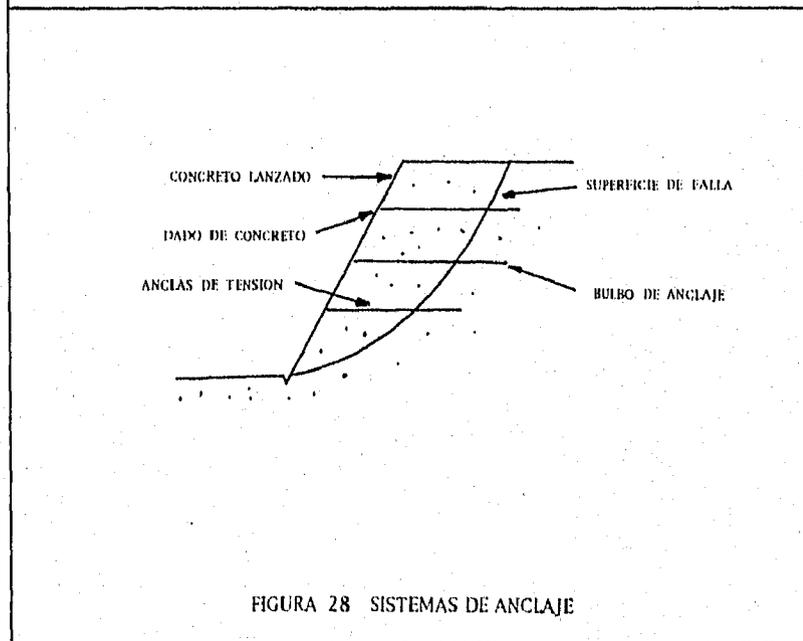


FIGURA 28 SISTEMAS DE ANCLAJE

2.2 PROPIEDADES MECANICAS DE LA CENIZA VOLANTE

Las propiedades mecánicas de la ceniza que interesa conocer para realizar su estudio de estabilidad son:

- a) Resistencia al esfuerzo cortante.
- b) Angulo de fricción interna.
- c) Permeabilidad.
- d) Humedad óptima y peso volumétrico.

A continuación se describen cada una de estas propiedades.

2.2.1 Resistencia al esfuerzo cortante

Con objeto de tener valores representativos de la resistencia al esfuerzo cortante de la ceniza, se realizaron pruebas de laboratorio con material de este tipo, traldo de una Central Carboeléctrica, se clasificaron algunas muestras inalteradas y se determinó su resistencia al esfuerzo cortante, sometiéndolas a ensayos de compresión triaxial.

Para simular las condiciones de colocación proyectadas en campo, se humedeció la ceniza con 20 % de contenido de agua (igual al que se les pretende proporcionar en el campo) y se compactó en el molde Porter, al 90 % de su peso volumétrico seco máximo.

De las muestras de ceniza compactada, se labraron especímenes para ensayarlos en la cámara triaxial. Los resultados se muestran en las figuras 29 y 30.

2.2.2 Angulo de fricción interna

El ángulo de fricción interna como se sabe, depende de la uniformidad de las partículas de la ceniza, del tamaño y forma de los granos y de la presión normal.

Los ángulos de fricción interna que se reportan, tiene valores de 25° a 40° para la ceniza volante y de 38° a 42.5° para la ceniza de fondo. Con este parámetro se puede analizar la estabilidad de un talud formado con ceniza y diseñarlo de tal manera que tenga factores de seguridad para evitar fallas.

2.2.3 Permeabilidad

La permeabilidad indica la mayor o menor facilidad con que fluye el agua a través de la ceniza.

El coeficiente de permeabilidad que se reporta según el tipo de carbón que se use, varía 1×10^{-4} cm/s, a 3×10^{-7} cm/s, para la ceniza volante y de 1×10^{-1} cm/s, a 6×10^{-2} cm/s, para la ceniza de fondo. Este coeficiente se refiere a ceniza sin compactar.

2.2.4 Humedad óptima y peso volumétrico

De pruebas de laboratorio que se realizaron en la ceniza volante, compactándola según, especificaciones de la prueba Proctor, se reporta una humedad óptima de 29 % y un peso volumétrico seco máximo de 1100 kg/m^3 .

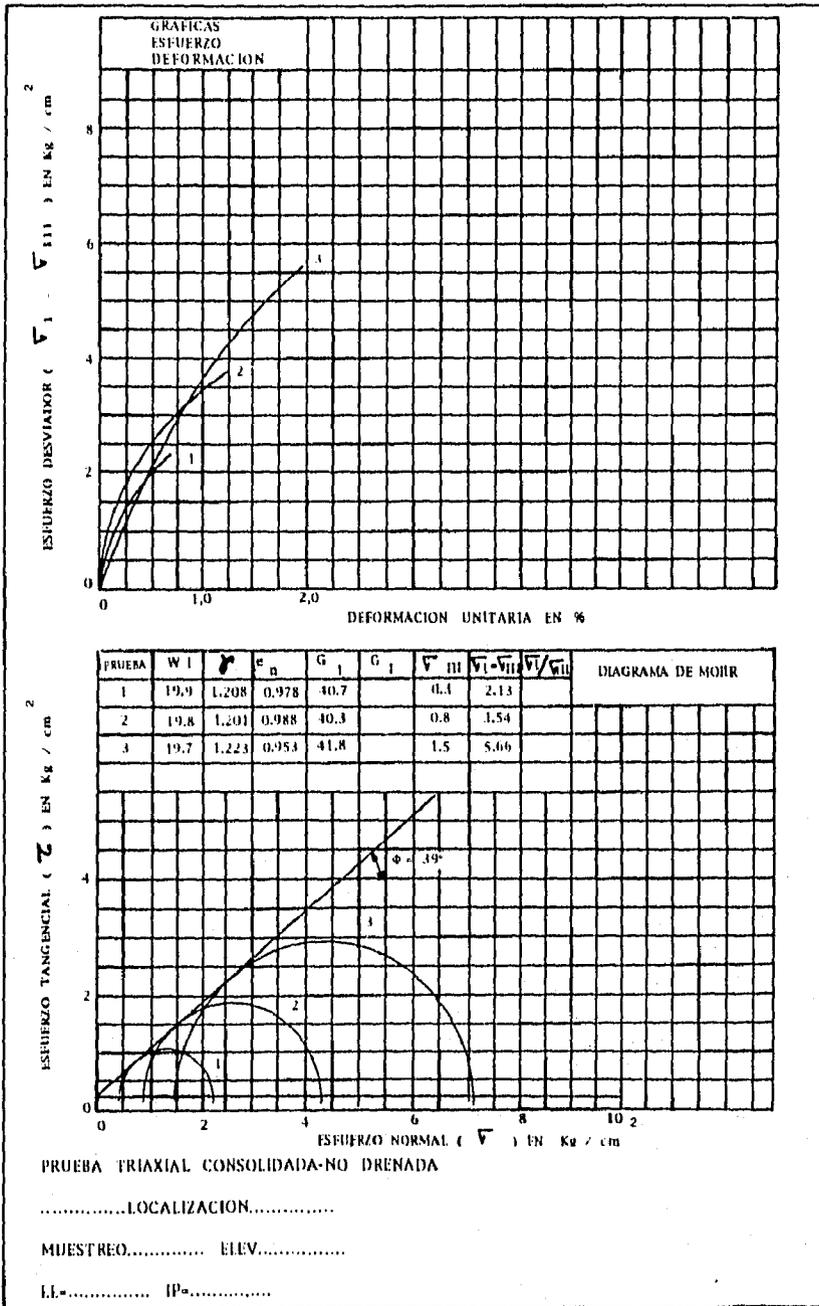


FIGURA 29 PRUEBA TRIAXIAL DE CENIZA

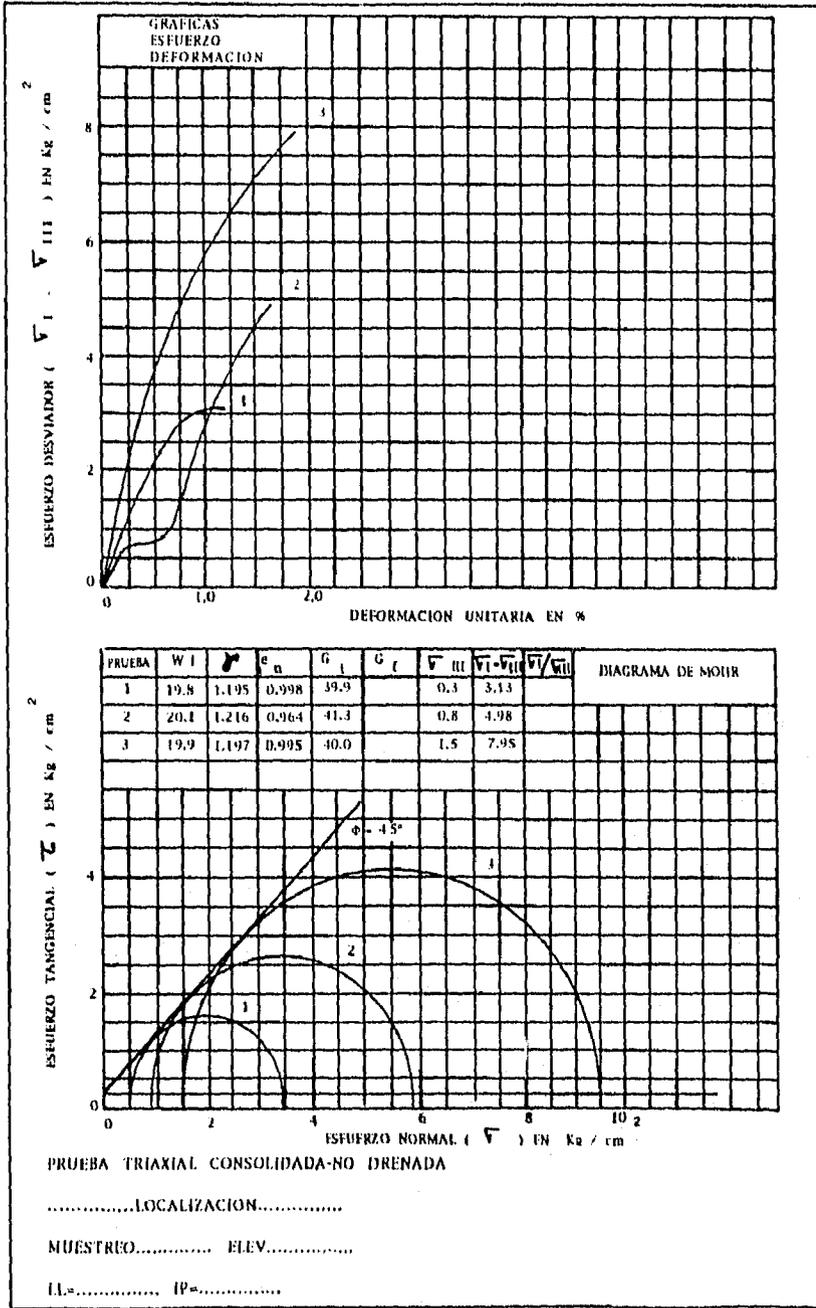


FIGURA 30 PRUEBA TRIAXIAL DE CENIZA

2.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE CENIZA Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

Es necesario tener un análisis de estabilidad de taludes tanto de los terraplenes de ceniza, así como de sus obras complementarias, siendo estas los bordos de protección y los bordos permeables.

2.3.1 Terraplén de ceniza

Es necesario determinar las propiedades geotécnicas de la ceniza que se va a depositar, con la finalidad de encontrar la geometría óptima que deben tener los terraplenes de la ceniza depositada.

Lo anterior es de importancia ya que, debido a los grandes volúmenes de ceniza que se tiene que almacenar, a los posibles y escasos lugares cercanos de almacenamiento, es importante aprovechar óptimamente los espacios disponibles que serán ocupados por la ceniza.

El objetivo de este análisis, es determinar el valor del talud y la altura que deben tener los terraplenes de ceniza, de tal manera que garanticen su seguridad durante la vida útil de la Central y después de ella, ya que serán depósitos definitivos, a menos que se le encontrara un uso práctico a esta ceniza.

2.3.1.1 Procedimiento de cálculo

Para la revisión de la estabilidad de un talud, se emplea el método Bishop, el cual se describió anteriormente.

2.3.1.2 Revisión del factor de seguridad

La revisión del factor de seguridad, se lleva a cabo mediante un programa de computadora que permite evaluar la estabilidad de un talud que considera superficies de falla circulares, tanto en condiciones estáticas como dinámicas, basado en el método Bishop simplificado.

En este programa la información que se requiere es la siguiente:

- a) Elevación N.A.F.
- b) Peso volumétrico del agua
- c) Factor sísmico
- d) Número de líneas que forman el talud
- e) Número de intersecciones que forman el talud
- f) Número de suelos que componen el talud
- g) Peso volumétrico de la ceniza
- h) La cohesión de la ceniza.
- i) Angulo de fricción interna de la ceniza
- j) Coordenadas del centro del círculo de falla

En México se llega a depositar ceniza, formando terraplenes con alturas hasta de 15 m.

El análisis por computadora de un terraplén con altura de 12 m, y con los datos que a continuación se mencionan, nos arroja los siguientes factores de seguridad.

- h = 12 m
- k = 3
- $\gamma = 0.9 \text{ t/m}^3$
- $\phi = 38^\circ$
- c = 0.28

Condición : Estatica

Factor de seguridad = 2.51

Condición : Sísmica

Factor de seguridad = 1.23

Valores que son adecuados para tener una condición estable, ver figura 31.

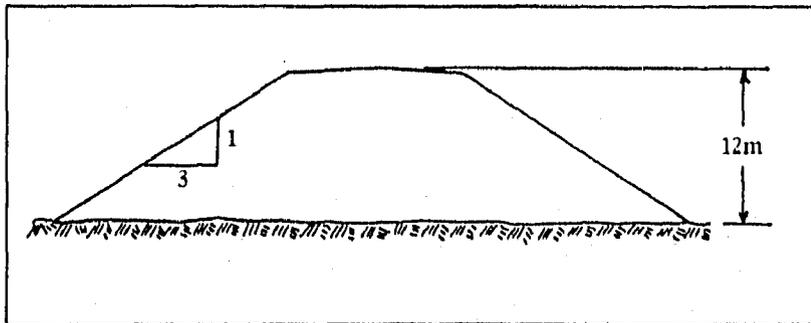


FIGURA 31 PERFIL DE TALUD

2.3.2 Bordos de protección

Cuando los depósitos de ceniza se encuentran cerca del mar o de algún río, es necesario colocar estructuras llamadas bordos de protección, con el objeto de proteger el terraplén de ceniza de la acción del agua.

Estas estructuras se construyen del lado del río o del mar. El núcleo puede ser de material térreo o ceniza mezclada con algún cementante.

Los análisis de estabilidad se pueden hacer con el método sueco.

El análisis de un bordo permeable con altura de 4.0 m, núcleo construido con material térreo del tipo conglomerado arcilloso, y con los parámetros de resistencia siguientes:

Cohesión: 0.3959 kg/cm^2
Angulo de fricción: 30°
Peso volumétrico: 2.039 t/m^3

Arroja los siguientes factores de seguridad:

Estático: FS = 5.39
Sísmico: FS = 3.12

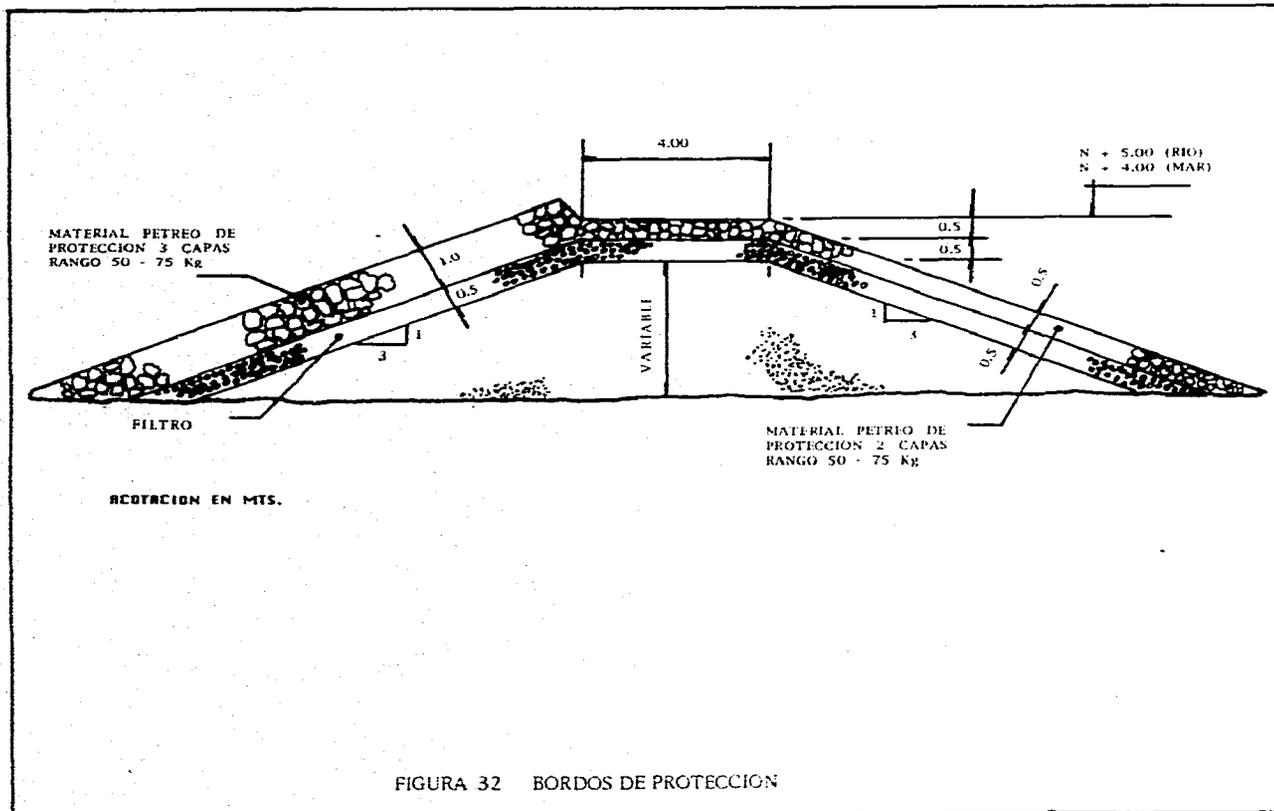
Una sección típica de estas estructuras, se muestra en la figura 32.

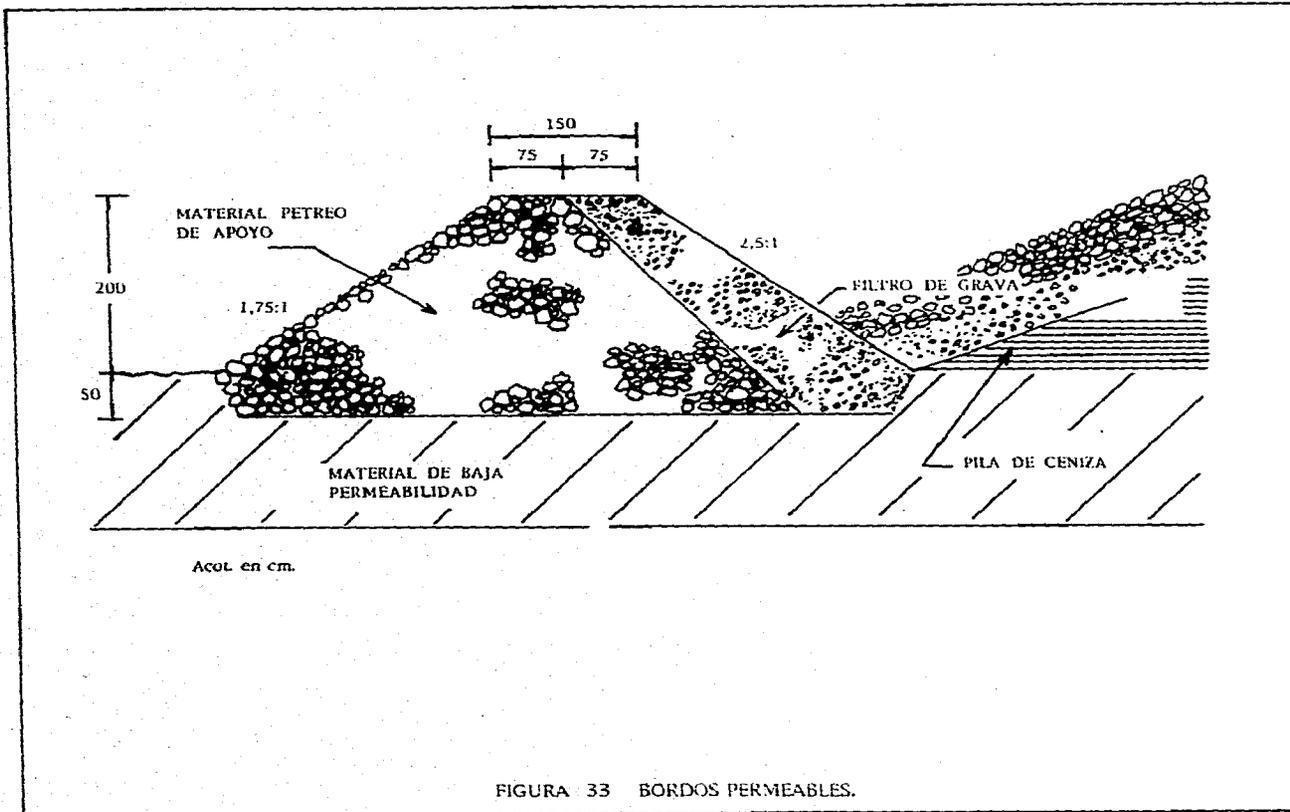
2.3.3 Bordos permeables

Estas estructuras se construyen al pie del terraplén de ceniza, previamente a su acumulación. Su objetivo es evitar que las cunetas se azolven, reteniendo a la ceniza que pudieran escurrir con el agua de la lluvia por los taludes y dejando pasar solamente el agua.

La sección típica y la geometría de estas estructuras, se muestran en la figura 33. Esta estructura está conformada por un pedraplén, sus taludes se analizan para las inclinaciones mostradas. Al enrocamiento, se le considera un ángulo de fricción de 45° y al filtro de 38° y se analizan bajo la hipótesis de que la ocurrencia de falla sería a través de superficies planas.

Los resultados indican que para la geometría e inclinaciones de los taludes propuestos, esta estructura es estable tanto estática como sísmicamente.





2.4 ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga del terreno natural, se debe revisar considerando que las estructuras (pilas de cenizas, bordos de protección, etc.), se construirán desplantadas superficialmente.

Para obtener el análisis de capacidad de carga que debe tener el terreno donde se desplantará la ceniza, es necesario contar con un plan de trabajo completo que incluya:

- a) Exploración de campo.
 - Pozos a cielo abierto.
 - Sondeos mixtos.
- b) Trabajos de laboratorio.
- c) Descripción del suelo.
- d) Capacidad de carga.

A continuación se describen cada una de estas actividades.

2.4.1 Exploración de campo

2.4.1.1 Pozos a cielo abierto

Se excava la cantidad necesaria de pozos de este tipo, de manera que se abarque una gran proporción del terreno en cuestión y puedan ser más confiables y reales los datos obtenidos. La profundidad a la que se llevarán, es por lo general de 3.0 m, ó hasta el nivel freático, cuando éste aparezca primero. En cada pozo se identifica y registra la estratigrafía observada y se obtendrán muestras representativas.

Para tener la ubicación de los pozos, según sus coordenadas y las elevaciones de sus brocales, se deben consignar estos datos en un formato, ver figura 34.

Para llevar a cabo el arreglo de estructuras (terraplén de ceniza, bordos de protección, bordos permeables, etc.), se utilizará un plano de restitución de vuelo efectuado por encima de lo que será el terreno de colocación de la ceniza que lógicamente será cercano a la Central en cuestión.

2.4.1.2 Sondeos mixtos

También, es necesario llevar a efecto sondeos de este tipo. Los materiales del subsuelo duros o compactos, se muestrean con tubo partido de penetración estándar, los suelos blandos, con tubo de pared delgada (tubo Shelby) de 7.5 cm de diámetro. Las coordenadas de localización de los sondeos, las elevaciones de sus brocales y del nivel freático registrado en cada pozo, se deben consignar en un formato, ver ejemplo en la figura 34.

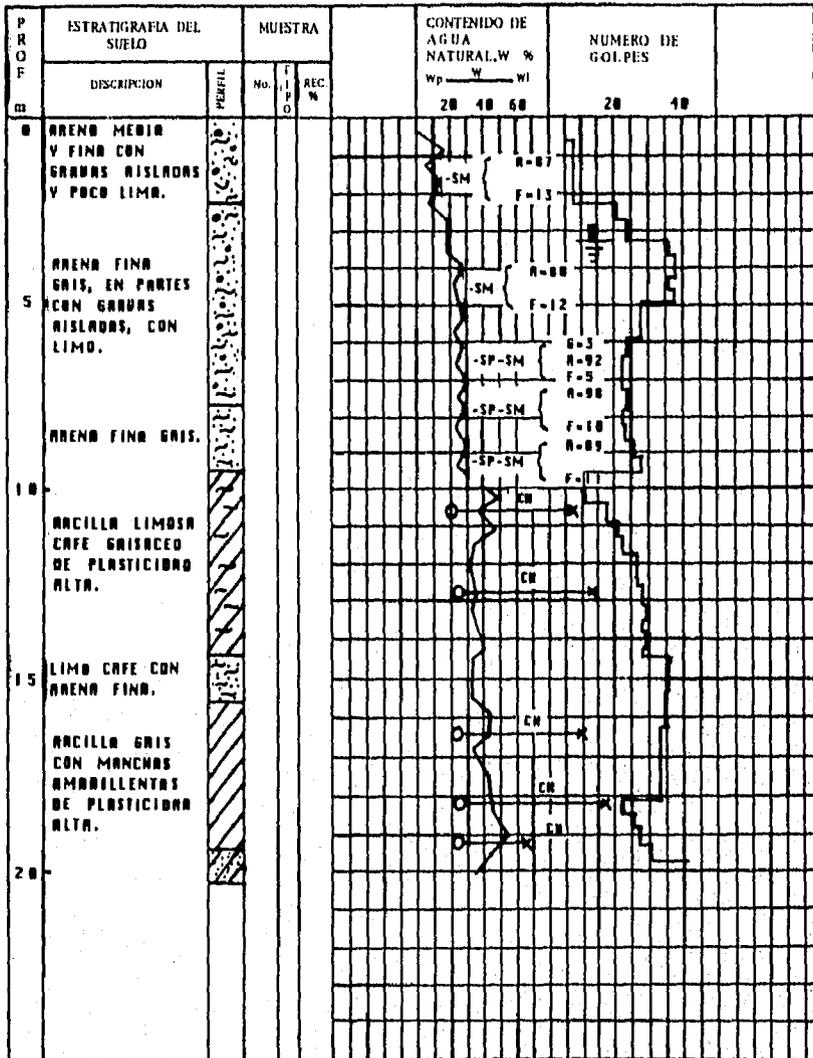
La variación del número de golpes contra la profundidad, registrados en los sondeos con la prueba de penetración estándar, se presentará gráficamente en formato de perfiles estratigráficos, ver ejemplo en la figura 35.

2.4.2 Trabajos de laboratorio

Las muestras rescatadas se remiten al laboratorio, se clasifican, se les determinan sus contenidos de agua y se les hacen pruebas índice (límites de consistencia, granulometrías y densidad de sólidos) en forma selectiva. En algunas muestras inalteradas, se determina su resistencia al esfuerzo cortante con torcómetro y se les somete a ensayos de compresión triaxial. Los resultados de estas pruebas se anotan en formatos; ver ejemplos en figuras 36 (perfil estratigráfico), 37 y 38 (granulometría y prueba triaxial).

SONDEO	COORDENADAS N	COORDENADAS E	ELEV. (m) BROCAL	ELEV. (m) NIVEL. FREATICO
PCA-3	8 300	10 090	+3.62	+0.77
PCA-4	8 660	10 240	+3.14	+1.04
PCA-5	9 000	10 370	+3.53	+1.23
PCA-8	9 255	10 790	+1.90	+0.75
PCA-9	7 595	10 150	+2.40	+0.35
PCA-10	7 185	10 195	+2.58	+1.68
PCA-11	7 780	10 435	+2.25	+0.15
PCA-12	8 120	10 535	+5.42	No se alcanzó
PCA-13	8 440	10 710	+5.57	
PCA-14	8 805	10 870	+1.68	+0.63
SM-3	8 445	10 210	+4.13	+1.13
SM-4	9 080	10 525	+3.59	+0.54
SM-5	7 240	10 100	+1.33	+0.30
SM-6	7 735	10 330	+5.23	+0.73
SM-7	8 290	10 610	+6.11	+1.21
SM-8	9 020	10 845	+1.88	+0.45
SM: Sondeo mixto.			Promedio: +0.78	
PCA: Pozo a cielo abierto				

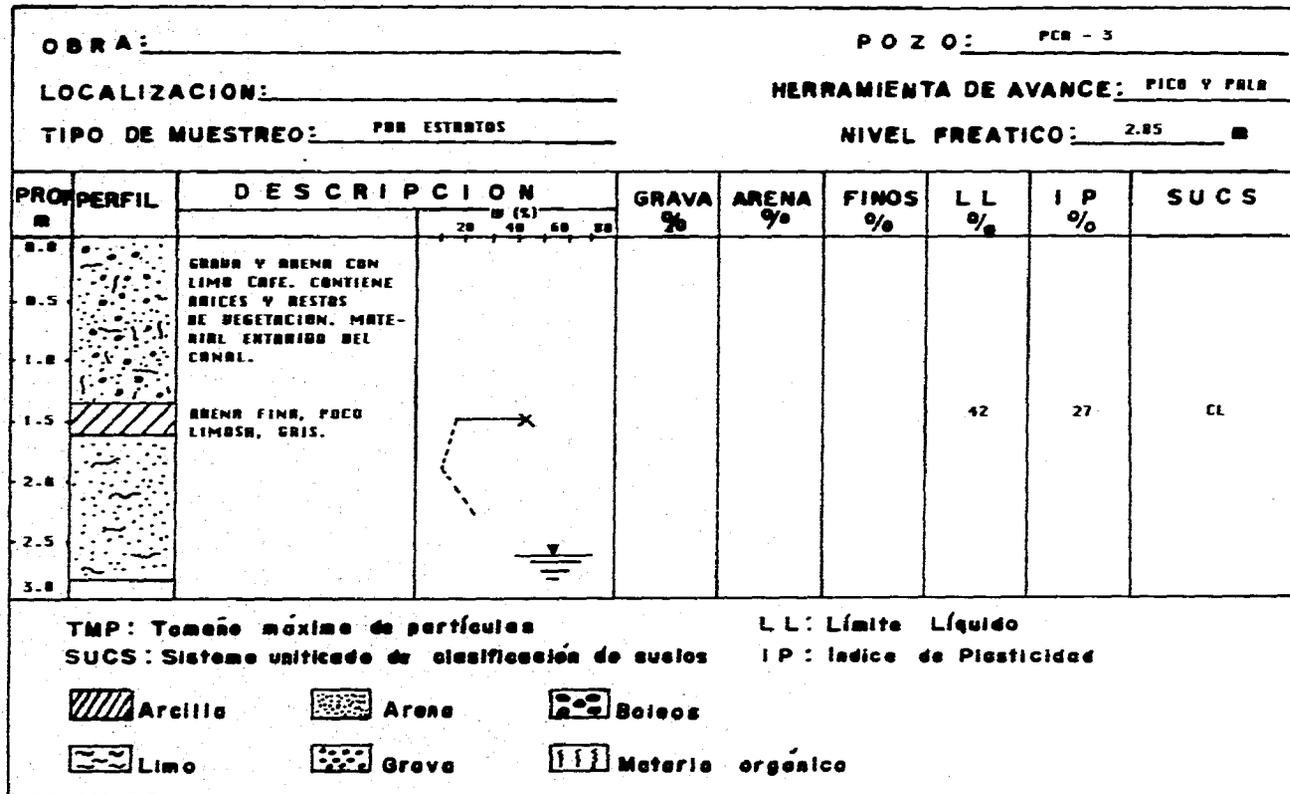
FIGURA 34 COORDENADAS Y ELEVACIONES DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO Y SONDEOS MIXTOS.



SIMBOLOGIA

	ARCILLA	<table border="1"><tr><td>G</td></tr></table>	G	% DE GRAVA
G				
	LIMO	<table border="1"><tr><td>A</td></tr></table>	A	% DE ARENA
A				
	ARENA	<table border="1"><tr><td>F</td></tr></table>	F	% DE FINOS
F				
	GRAVA			

FIGURA 35 REGISTRO DE SONDEO



77

FIGURA 36 REGISTRO DE POZO A CIELO ABIERTO

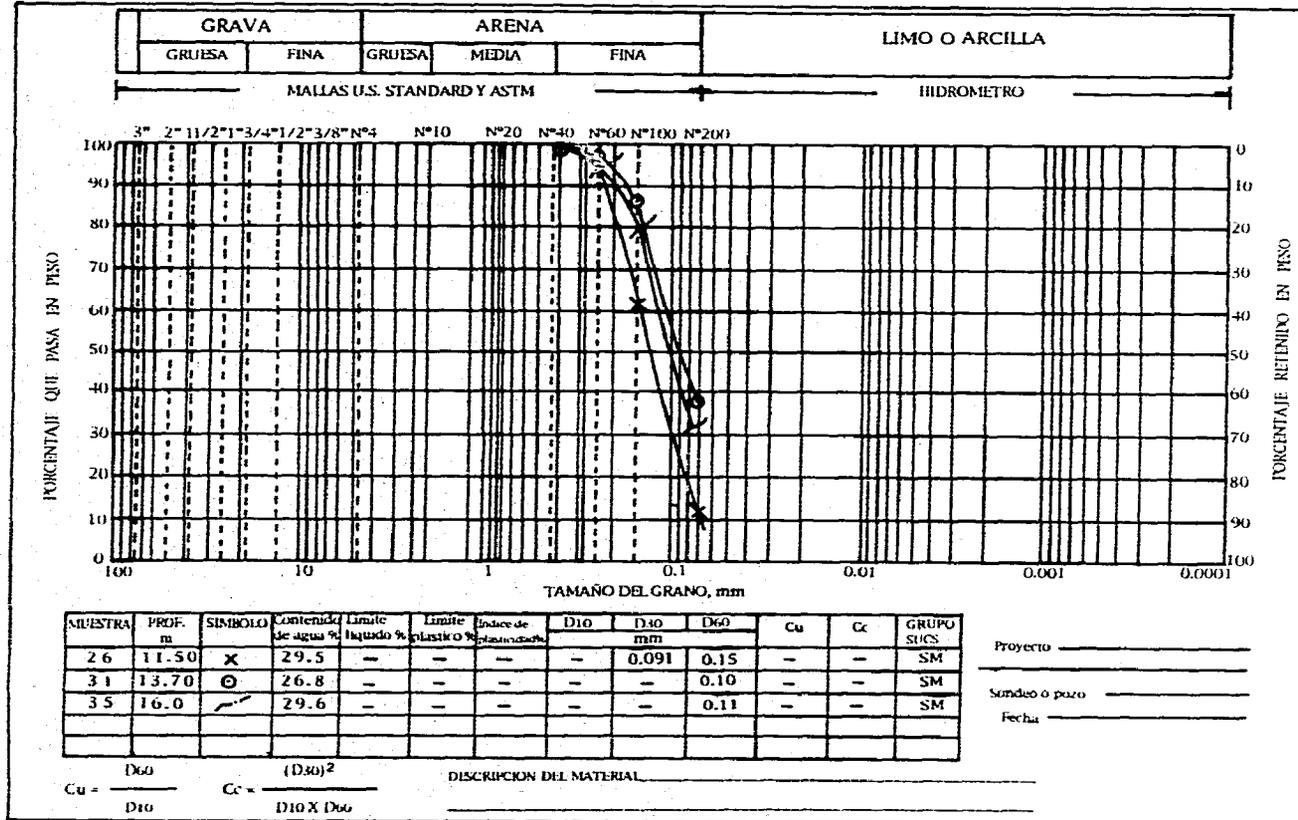


FIGURA 37 CURVAS GRANULOMETRICAS.

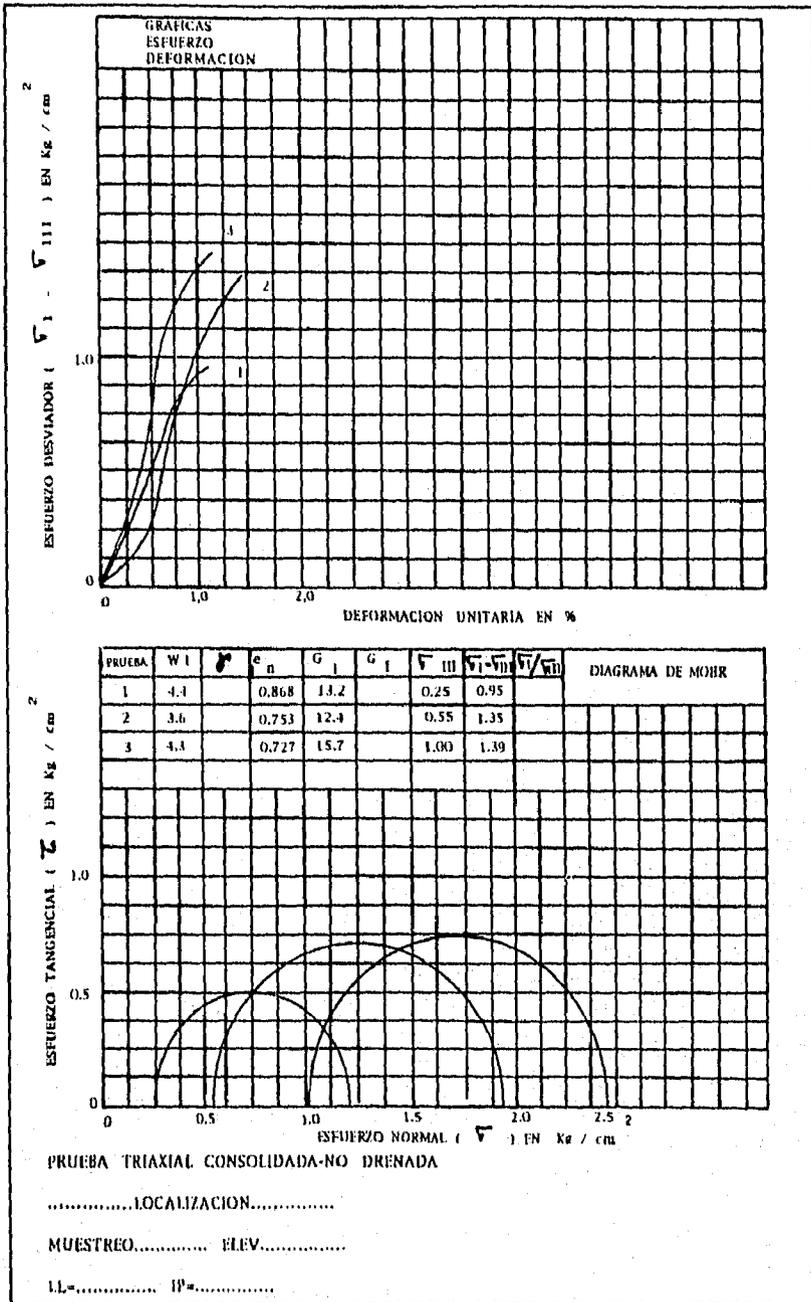


FIGURA 38 PRUEBA TRIAXIAL

2.4.3 Descripción del suelo

Aquí se obtiene una descripción detallada que va a contemplar los tipos de materiales que se encuentran a una profundidad máxima determinada, y de esta manera ver como está formado el suelo, pudiendo ser depósitos granulares, arcillosos, etc.

Desde la superficie del terreno y hasta profundidades comprendidas entre 9.50 y 20.0 m. (profundidad máxima de los sondeos), se ve qué tipo de material se encuentra depositado y así analizar su compacidad, tamaño de granos, etc.

2.4.4 Capacidad de carga

Es necesario tomar en cuenta el tipo de material con que están formados los depósitos superficiales del subsuelo y analizarlos de tal manera que se pueda obtener un estudio amplio de su compacidad en los estratos.

Es necesario considerar en los depósitos superficiales, la posible superficie de falla y hasta donde podría penetrar en ellos.

Para los análisis, se toman en cuenta los perfiles estratigráficos obtenidos de los sondeos mixtos realizados, ver figura 35, y se emplean los parámetros de resistencia del suelo, obtenidos con la prueba triaxial y que se reportan gráficamente, ver figura 38.

2.5 OBRAS DE DRENAJE

El drenaje es un factor importante en la construcción de terraplenes y rellenos con ceniza volante, el agua subterránea se debe mantener bastante alejada de la superficie para que no los dañe o debilite por medio de su ascenso por capilaridad. El agua que cae sobre el talud, así como los escurrimientos y las corrientes que lo crucen, deben eliminarse fuera de él.

Las obras de drenaje y subdrenaje estarán destinadas a captar y desalojar, del terraplén o relleno de ceniza volante, el agua de lluvia.

Existen varias obras de drenaje y subdrenaje, que se construyen; según las necesidades y condiciones del terreno donde se desplantará el terraplén de ceniza, entre ellas se encuentran:

- a) Drenes Longitudinales.
- b) Drenes de captación.
- c) Lagunas de sedimentación.
- d) Trincheras.
- e) Lavaderos.

A continuación se describe cada una de ellas.

2.5.1 Drenes Longitudinales

Cuando se vayan a rellenar depresiones o cuencas, es conveniente colocar en la parte más baja, aprovechando los cauces de los escurrimientos superficiales naturales, drenes longitudinales a base de tubos perforados y material de filtro, según la figura 39.

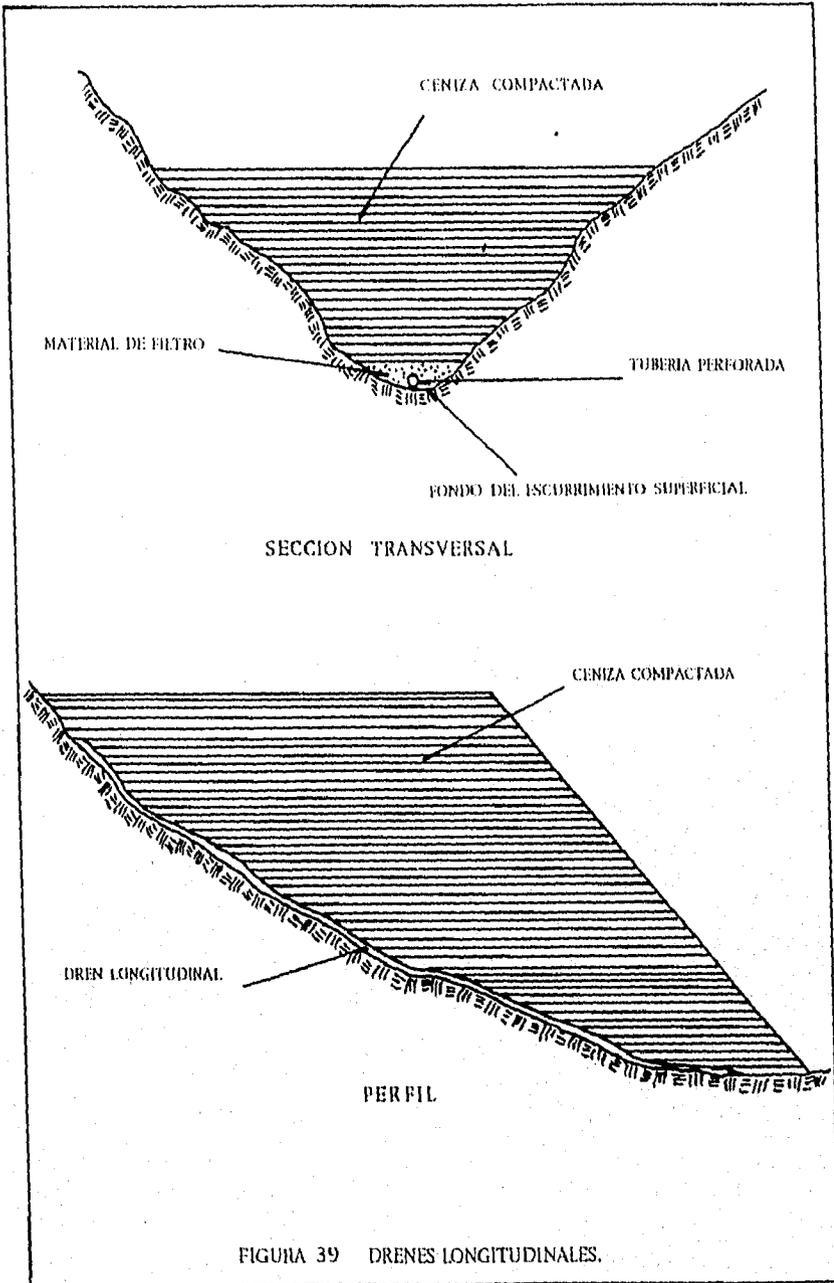


FIGURA 39 DRENES LONGITUDINALES.

2.5.2 Drenes de captación

Cuando se vayan a conformar terraplenes en lugares planos de gran extensión, se construyen drenes en toda la base de cada terraplén, formando una red con trayectorias sensiblemente perpendiculares entre sí, con objeto de que los líquidos percolados, escurran hacia las redes de drenaje que serán construidas en las bases del terraplén de ceniza, ver figura 40. Los drenes se alojarán en zanjas excavadas en el revestimiento de fondo y estarán conformados por un filtro de material granular y tubos ranurados.

Sobre la cubierta impermeable de fondo, se coloca una carpeta de material granular, conformada por arena y grava bien graduadas ver figura 41. La función de esta capa será doble: por una parte brindará protección a la superficie terminada del revestimiento impermeable y por otra funcionará como filtro, permitiendo el paso de los lixiviados e impidiendo la migración de la ceniza que se deposite sobre ella.

El agua captada será conducida hacia una red de drenaje, conformada por zanjas perimetrales, revestidas con concreto y construidas perimetralmente en el terraplén de ceniza, ver figura 42. El agua de las cunetas será transportada hacia una laguna de sedimentación, donde será vertida al drenaje o mar, después de su tratamiento.

Para el caso de depósitos de ceniza, aledaños a pendientes naturales, además de los drenes perimetrales al terraplén de ceniza, se deberán construir drenes en dichas pendientes naturales, estratégicamente colocados para impedir que el agua llegue hasta el pie del terraplén o cuando los depósitos se formen, rellenando depresiones o pequeñas cuencas.

2.5.3 Laguna de sedimentación

Si fuera necesario construir una laguna de sedimentación, esta estructura se

alojará en la parte mas baja del área de los depósitos, tendrá forma rectangular de aproximadamente 23 m x 420 m, de lado. En ella se recolectará el agua captada por el sistema de drenaje y se descargará en el mar después de tratarla.

2.5.4 Trincheras

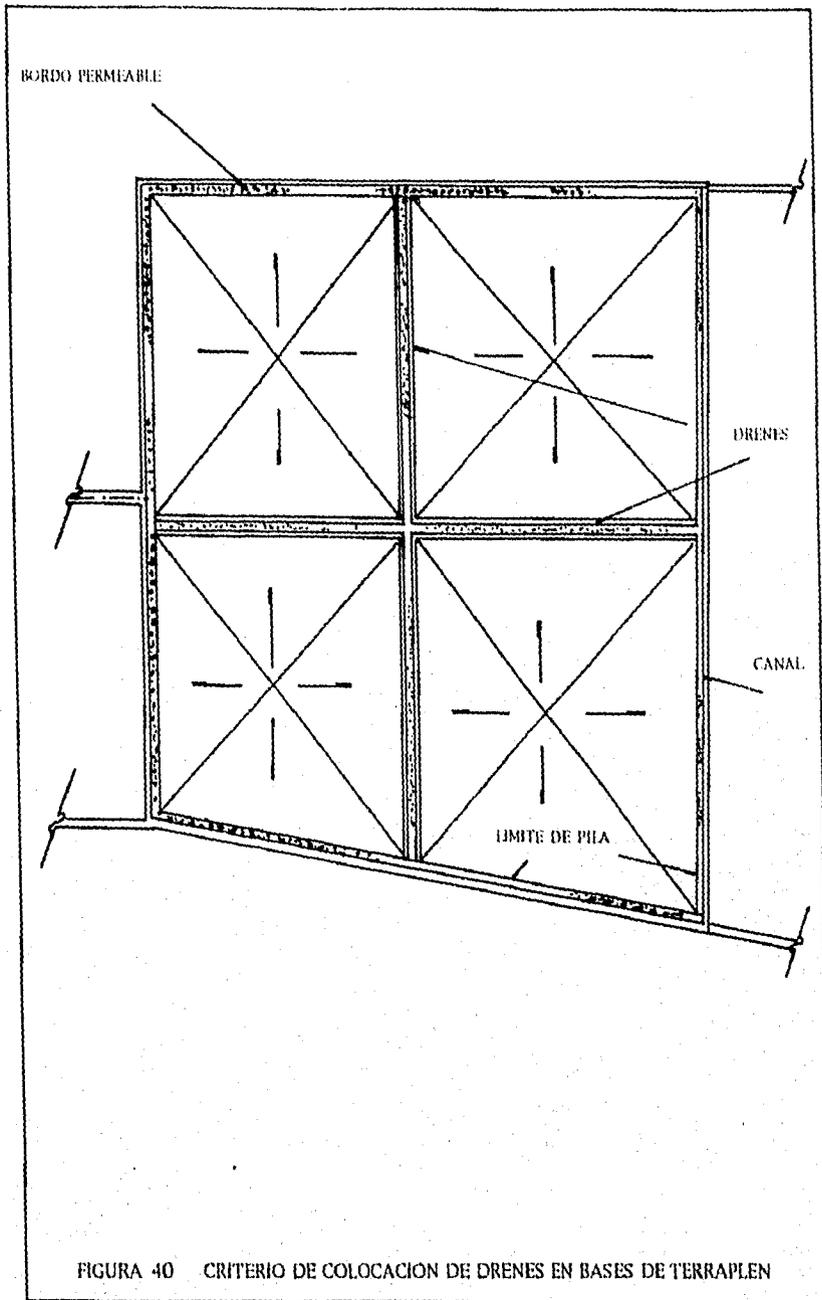
Cuando en una ladera natural existe flujo de agua y está formada por grandes espesores de materiales, cuya estabilidad se ve amenazada por dicho flujo y sobre tal ladera ha de construirse un terraplén, la remoción de todos los materiales malos y su sustitución por materiales mejores, es difícil y antieconómica.

En estos casos será necesario captar el flujo y eliminarlo en una zona bajo el terraplén de profundidad y ancho suficiente, para garantizar la estabilidad local; para tal fin se procede a construir una trinchera estabilizadora.

En general, una trinchera estabilizadora, es una excavación, dotada en su talud de aguas arriba, de una capa drenante con espesor de 50 a 100 cm, de material de filtro y un sistema de recolección y eliminación de agua en su fondo, el cual puede consistir de una capa de material de filtro del mismo espesor antes citado, dentro del cual, se coloca tubería perforada de 15 a 20 cm de diámetro, para conducir el agua captada, hacia zonas fuera de camino, donde ya no lo afecte, ver figura 43.

2.5.5 Lavaderos

Es una cubierta o delantal de concreto, mampostería o piedra acomodada para encauzar el agua proveniente de cunetas sobre los taludes o terraplén.



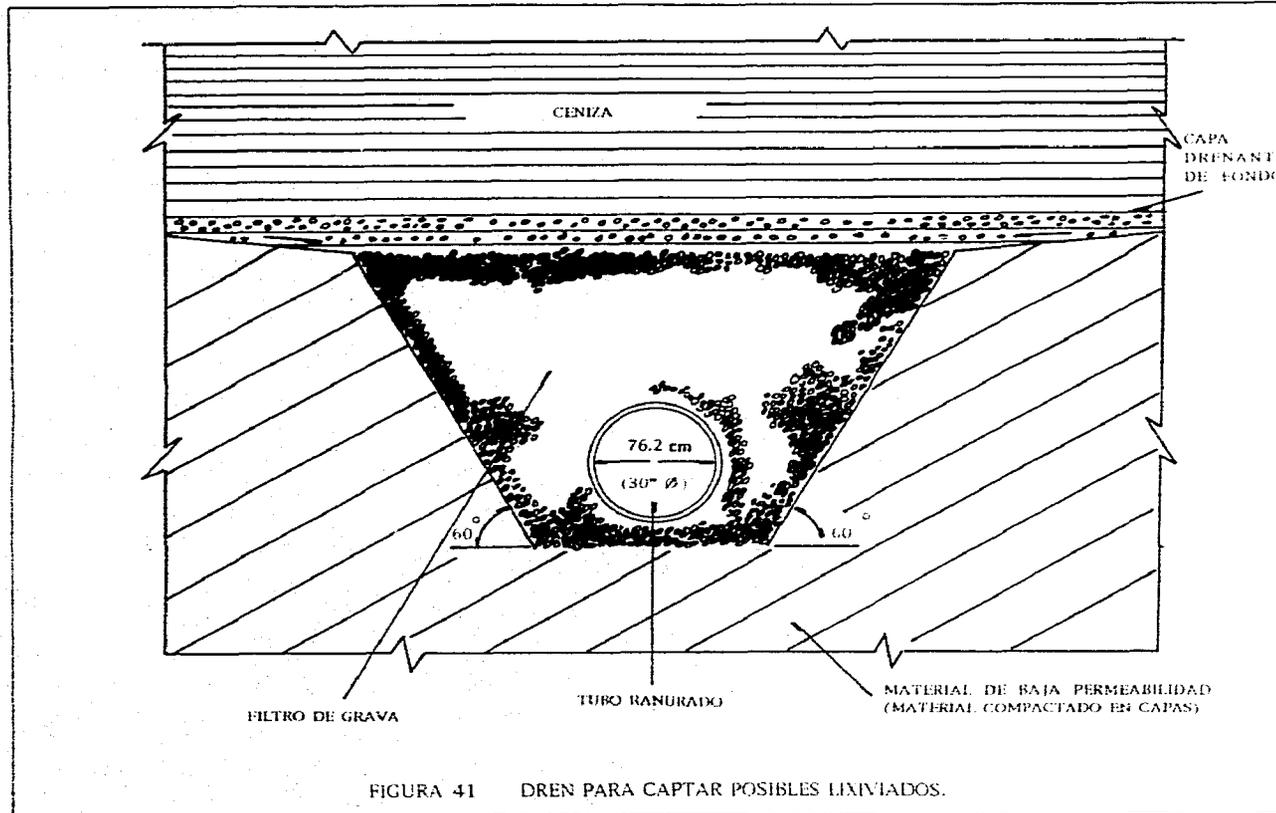
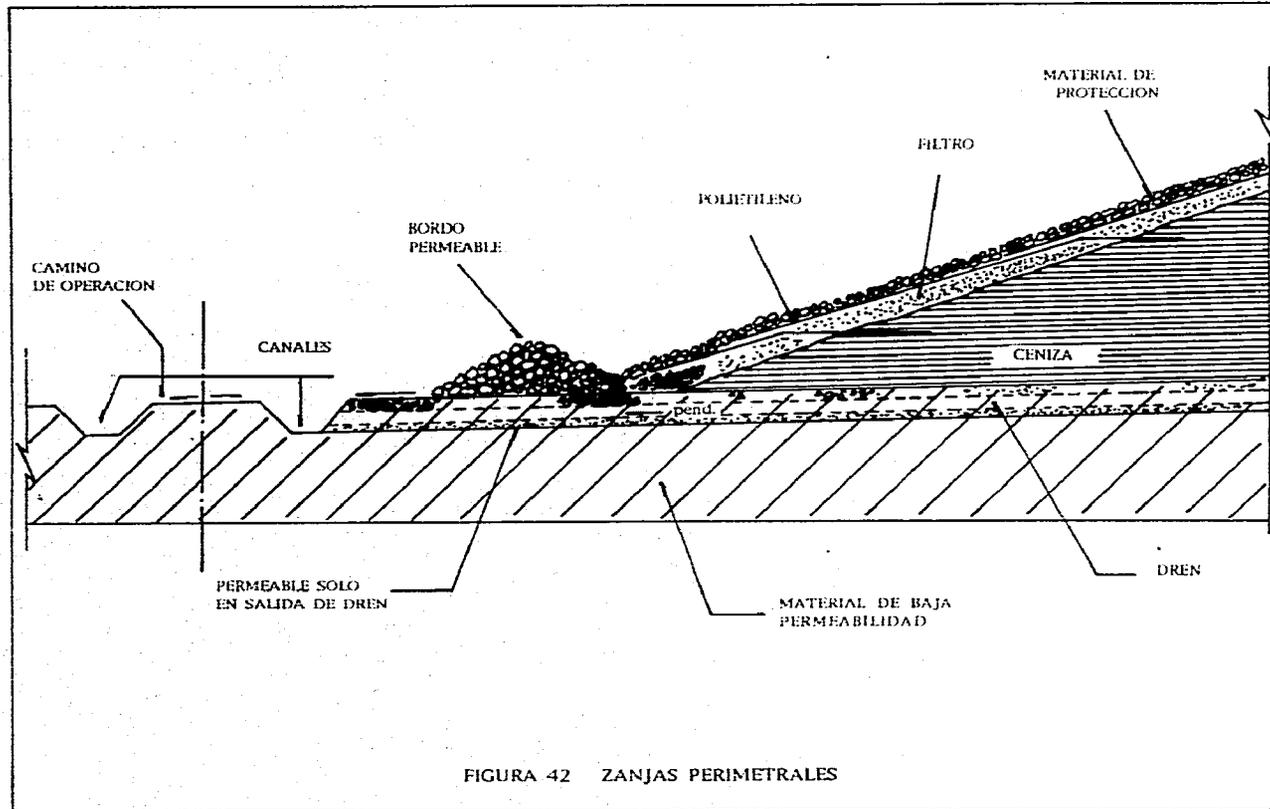


FIGURA 41 DREN PARA CAPTAR POSIBLES LIXIVIADOS.



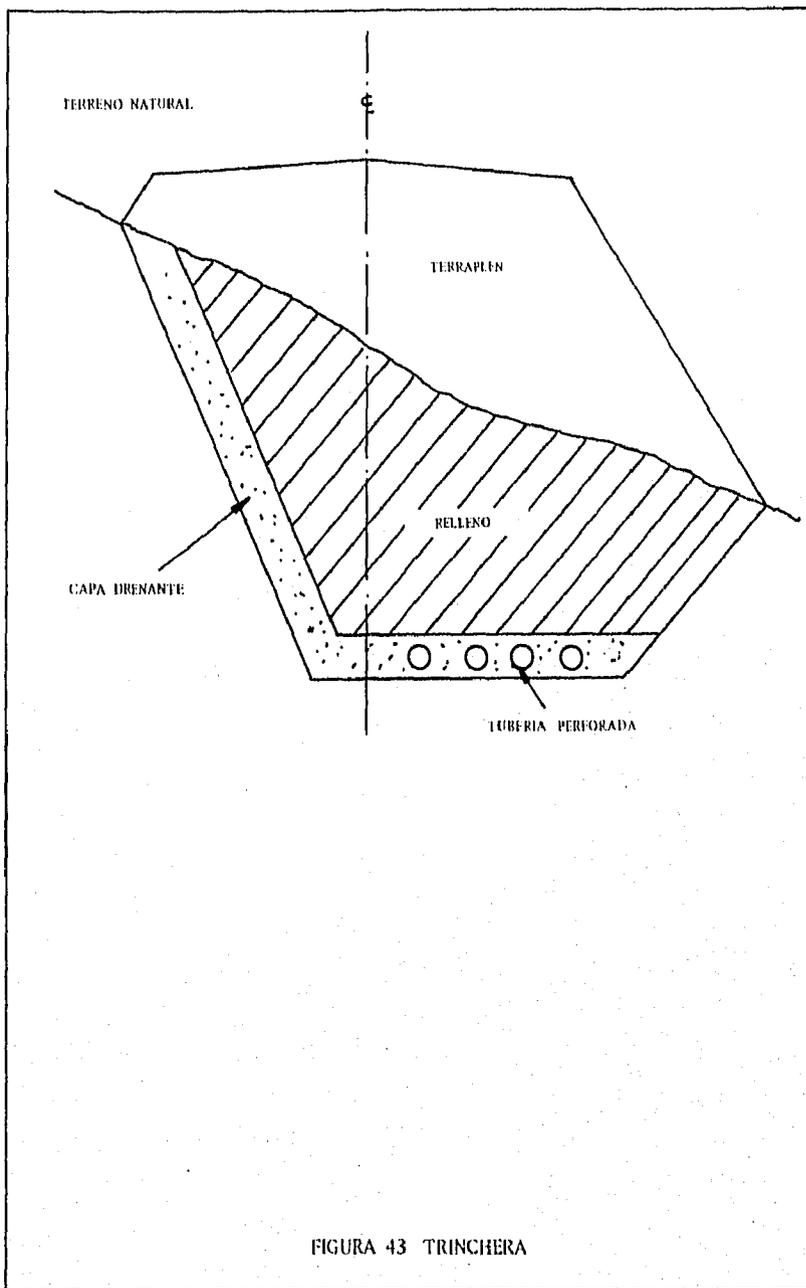


FIGURA 43 TRINCHERA

CAPITULO 3

PROCESO CONSTRUCTIVO

CAPITULO 3 PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación se describe el proceso constructivo y conceptos de obra en la construcción de terraplenes, utilizando ceniza volante.

3.1 MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCION

Las máquinas más empleadas en la formación de terraplenes, con algunas de sus variantes, son las siguientes:

- a) Tractores.
- b) Motoconformadoras.
- c) Compactadores.
- d) Cargadores.
- e) Retroexcavadoras.
- f) Camiones de volteo.
- g) Pipas con sistema de riego p/camlnos y equipo de bombeo integrado.

3.1.1 Tractores

Son máquinas que convierten la energía del motor en energía de tracción. Su principal función es la de jalar o empujar cargas. Son máquinas útiles, eficaces y, generalmente, indispensables en la construcción de los terraplenes de ceniza.

Se clasifican, tanto por su rodamiento como por su potencia en el volante.

Por su rodamiento se clasifican en:

- a) Tractores sobre neumaticos.
- b) Tractores sobre orugas.

Por su potencia en el volante, se clasifican como se indica en la tabla 7.

MODELO	Potencia en el Volante	Hojas topadoras			Peso en toneladas		
		tipo	Longitud m	Alura m	Tractor sin equipo	Hoja Topadora	Bipper
CAT. D-8	300 H.P.	Recta	3.93	1.52	24.8	5.3	4.8
		Angulable	4.72	1.12		5.3	
CAT. D-7	200 H.P.	Recta	3.65	1.27	15.2	3.2	3.0
		Angulable	4.29	0.96		3.1	
CAT. D-6	140 H.P.	Recta	3.20	1.13	11.8	2.1	1.5
		Angulable	3.86	0.91		2.3	
Komatsu D-155	320 H.P.	Recta	4.13	1.59	27.3	5.7	5.9
		Angulable	4.85	1.14		5.5	
Komatsu D-85	180 H.P.	Recta	3.62	1.28	18.2	3.7	3.6
		Angulable	4.26	1.06		3.6	

TABLA 7 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRACTORES POR SU POTENCIA

En la construcción de terraplenes utilizando ceniza volante se pueden utilizar, tractores CAT D-6 o similar, tractores CAT D-8 o similar, ver figura 44.

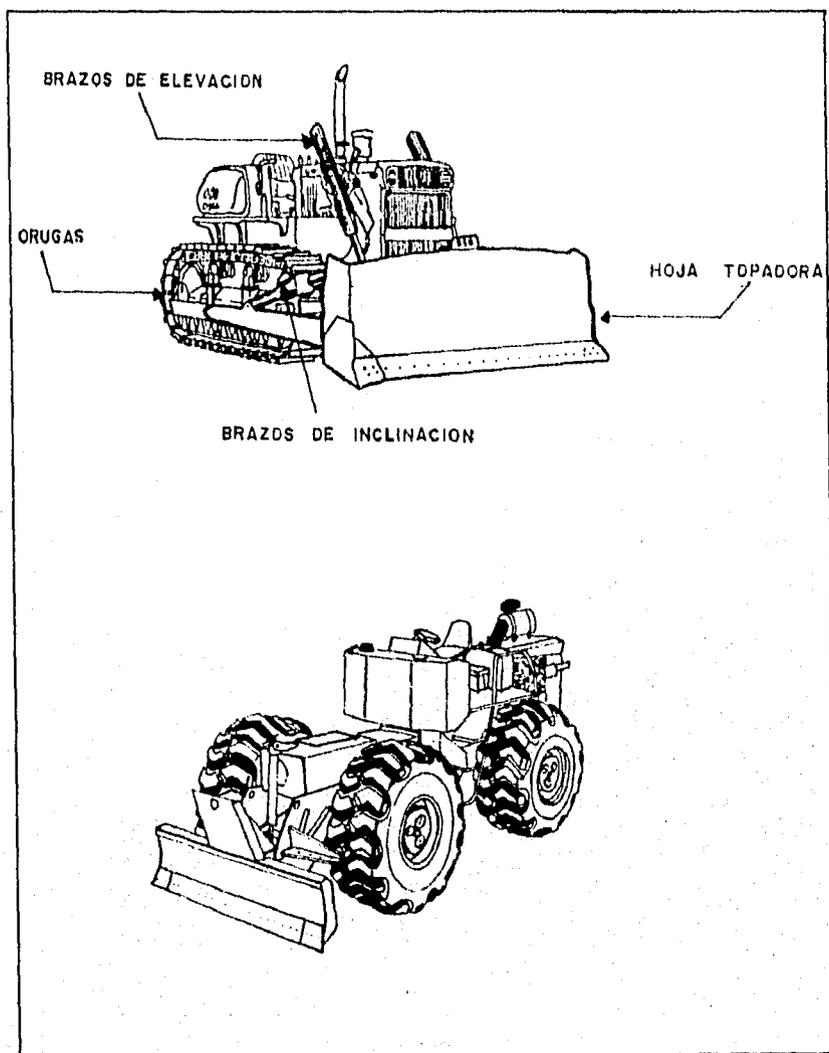


FIGURA 44 TRACTORES DE ORUGAS Y LLANTAS

Las fórmulas para calcular el rendimiento y capacidad son:

$$R = \frac{E \times C \times 60}{Ca \times T}$$

Donde:

R = Rendimiento.

E = Factor de eficiencia durante el trabajo, varía de 0.70 a 0.75 promedio.

C = Capacidad nominal del cucharón.

Ca = Es el coeficiente de abundamiento.

T = Es el tiempo total empleado en realizar un ciclo de trabajo, está formado por la suma de los tiempos fijos más tiempos variables; expresado ya sea en segundos, minutos o fracciones de hora.

$$C = \frac{L \times a^2}{2 \tan \phi}$$

Donde:

C = Capacidad.

L = Longitud de la hoja empujadora del tractor.

a = Altura de la hoja.

ϕ = Angulo de reposo del material.

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: TRACTOR DE ORUGAS CATERPILLAR D-6H DE 165 HP Y 18 TON DE PESO DE OPERACION EQUIPADO CON HOJA RECTA Y SIN ESCARIFICADOR.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =		\$ 1409431.10
Horas anuales de uso (Ha) =		1375.00 hrs
Vida económica (V) =		7.20 hrs
Tasa de seguro (s) =		2.00
% de mantenimiento (Q) =		75.00
% de rescate (r) =		20.00
Tasa de interés (i) =		16.00
Vr= Va * r	=	\$ 281886.22
Ve= V * Ha	=	9900.00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación: D	= (VA - Vr)/Ve	\$ 113.89/hr
b) Inversión: I	= i * (Va + Vr)/2 * Ha	\$ 98.40/hr
c) Seguros: S	= s * (Va + Vr)/2 * Ha	\$ 12.30/hr
d) Mantenimiento: M	= Q * D	\$ 85.42/hr
Total de cargos fijos	=	\$310.02/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	importe
Diésel	lt	21.5000	1.51	\$32.47/hr
Acete lubricante	lt	0.3225	10.43	\$ 3.36/hr
Total de consumo	=			\$35.83/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	importe
Operador 1° para equipas superiores	hor	0.1500	206.67	\$ 31.00/hr
Total de operación	=			\$ 31.00/hr
Total de costo horario	=			\$ 376.85/hr

ANÁLISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: TRACTOR DE ORUGAS CATERPILLAR D-8N DE 285 HP Y 36.8 TON DE PESO DE OPERACION, EQUIPADO CON HOJA RECTA Y SIN ESCARIFICADOR.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =	S 2.827.209,00
Horas anuales de uso (Ha) =	2.000,00 hrs
Vida económica (V) =	7,00 hrs
Tasa de seguro (s) =	2,00
% de mantenimiento (Q) =	75,00
% de rescate (r) =	20,00
Tasa de interés (i) =	16,00
$Vr = Va * r$	S 565.441,80
$Ve = V * Ha$	14.000,00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación: D = $(Va - Vr)/Ve$	S 161,55/hr
b) Inversión: I = $i * (Va + Vr)/2 * Ha$	S 135,71/hr
c) Seguros: S = $s * (Va + Vr)/2 * Ha$	S 16,96/hr
d) Mantenimiento: M = $Q * D$	S 121,17/hr
Total de cargos fijos =	S 435,39/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Diésel	lt	28.000	1,51	S 42,28/hr
Aceite lubricante	lt	0,3300	10,43	S 3,44/hr
Total de consumo =				S 45,72/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Operador 1º para equipos superiores	Jor	0,1500	206,67	S 31,00/hr
Total de operación =				S 31,00/hr
Total de costo horario =				S 512,11/hr

3.1.2 Motoconformadoras

Son máquinas de aplicaciones múltiples destinadas a mover, nivelar y afinar suelos; utilizadas en la construcción de terraplenes y en la conservación de caminos.

La importancia de estas máquinas, se debe tanto a su potencia como al dispositivo para mover la cuchilla o principal elemento.

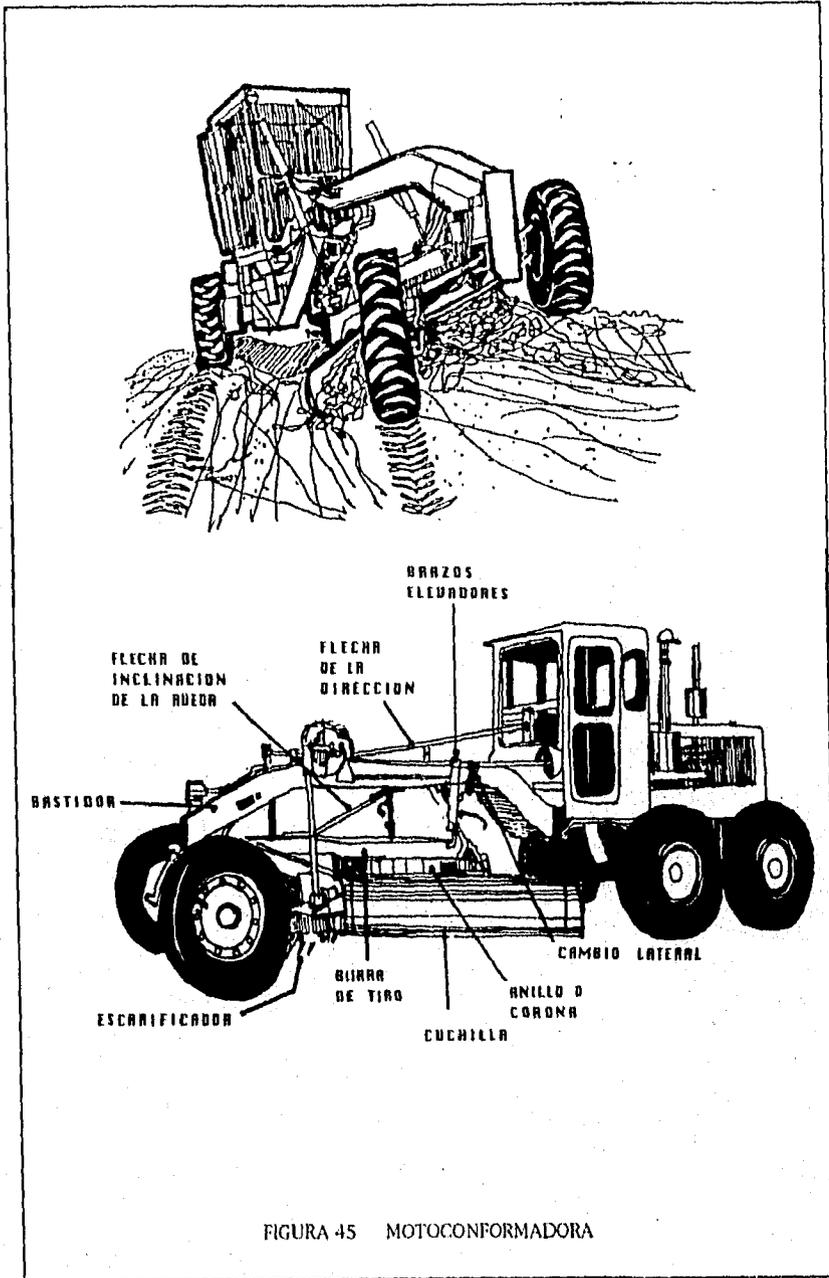
El dispositivo especial de movimientos, permite a la cuchilla girar y moverse en todos los sentidos, es decir:

- a) Puede regular su altura con relación al plano del suelo.
- b) En el plano horizontal puede quedar fija, formando un ángulo cualquiera con el eje horizontal de la máquina.
- c) Puede también inclinarse con relación al plano horizontal, llegando incluso a quedar en posición vertical fuera del chasis.

Esta máquina se especifica para:

- a) Despalmar (desyerbar y remover vegetación ligera, limpieza de bancos).
- b) Formar terraplenes.
- c) Extender materiales.
- d) Mezclar y remover materiales con el objeto de uniformarlos.
- e) Terminar y afinar taludes.
- f) Mantener y conservar caminos.

Como en todas las máquinas la velocidad de transmisión de la motoconformadora queda definida por la pendiente del terreno; y la eficiencia queda determinada, por la rugosidad del terreno, por su compactación, por su peso volumétrico y por el tamaño del material por trabajarse, ver figura 45.



La fórmula para determinar su rendimiento teórico es la siguiente:

$$R = \frac{V \times A \times e \times E}{N}$$

Donde:

- R = Rendimiento teórico de la máquina, al ejecutar un trabajo durante una unidad de tiempo.
- V = Velocidad de la máquina en metros por hora.
- A = Ancho de la faja por nivelar en metros.
- e = Espesor de la capa por nivelar en metros.
- E = Factor de eficiencia.
- N = Número de pasadas que requiere la máquina para revolver, tender y nivelar la faja de trabajo.

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: MOTOCONFORMADORA CATERPILLAR 120 G DE 135 HP Y 13.54 TONELADAS DE PLSO DE OPERACION.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición	(Va) =	\$ 1.445.790,50
Horas anuales de uso	(Ha) =	1.500,00 hrs
Vida económica	(V) =	8,00 hrs
Tasa de seguro	(s) =	2,00
% de mantenimiento	(Q) =	75,00
% de rescate	(r) =	20,00
Tasa de interés	(i) =	16,00
$Vr = Va * r$	=	\$ 289.158,10
$Ve = V * Ha$	=	12.000,00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación:	D = $(VA - Vr)/Ve$	\$ 96,39/hr
b) inversión:	I = $I * (Va + Vr)/2 * Ha$	\$ 92,53/hr
c) Seguros:	S = $s * [Va + Vr]/2 * Ha$	\$ 11,57/hr
d) Mantenimiento:	M = $Q * D$	\$ 72,29/hr
Total de cargos fijos =		\$ 272,77/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	importe
Diésel	lt	17,0000	1,51	\$ 25,67/hr
Acete lubricante	lt	0,2000	10,43	\$ 2,09/hr
6 llantas 1'300 x 24 14 pr-g-2	jgo	0,0005	12.666,00	\$6,33/hr
Total de consumo =				\$ 34,09/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Operador 2° para equipos superiores	hor	0,1500	190,75	\$ 28,61/hr
Total de operación =				\$ 28,61/hr
Total de costo horario =				\$ 335,47/hr

3.1.3 Compactadores

Es la maquinaria que se utiliza en la construcción de terraplenes y sirve para consolidar los suelos y ceniza, de acuerdo al grado de compactación especificado, Ver figura 46.

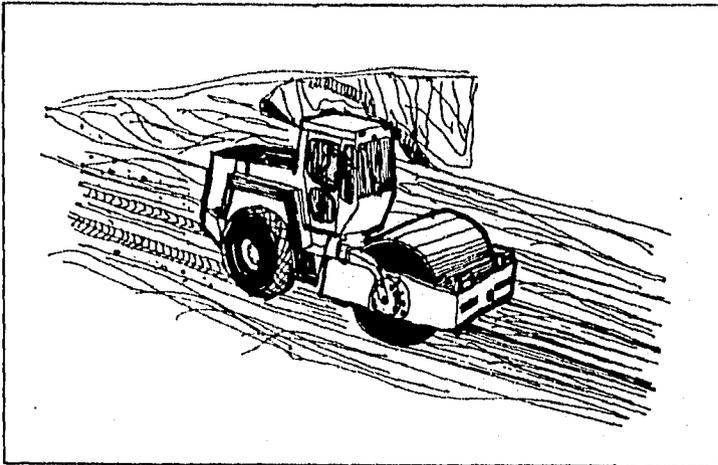


FIGURA 46 COMPACTADOR

Por medio de la compactación aumenta el peso volumétrico del material seco, los suelos retienen el mínimo de humedad, presentan menor permeabilidad y sus asentamientos son reducidos; es decir, que la compactación se traduce en un mayor valor de soporte, mayor resistencia al corte y mínima variación volumétrica por cambios de humedad.

El éxito de toda compactación depende de los métodos usados, el equipo seleccionado, del tamaño del área cargada, de la presión ejercida sobre ella y del espesor de la capa del suelo. Este espesor es importantísimo, pues cuando es mayor al que puede compactar el equipo, sobreviene el fracaso; este espesor

depende del tipo de suelo y de la máquina de compactación que se utilice.

Es importante considerar también la granulometría del material, el contenido de humedad y el esfuerzo de compactación; ya que con una correcta granulometría, las partículas pequeñas llenan los espacios vacíos que dejan las partículas grandes y se aumenta por compactación la densidad del material; con el justo contenido de humedad se reduce la fricción entre las partículas, se facilita el deslizamiento de ellas, se aumenta la densidad y se mejora la ligazón de las partículas. Conviene precisar que para obtener máxima compactación, hay que dar al suelo el grado óptimo de humedad que le corresponde, pues agua en exceso o en defecto, dificulta y a veces hace imposible la compactación. El esfuerzo de compactación o sea la energía que se transmite al suelo, según la máquina y el método empleado en el proceso de compactación, puede lograrse mediante:

- a) Peso estático.
- b) Amasado o manipuleo.
- c) Impacto o golpes violentos.
- d) Vibración o sacudimiento.

Los compactadores se clasifican:

- a) De tambores de acero liso.
- b) De neumáticos.
- c) Pata de cabra.
- d) Rejilla o malta.
- e) De pisonos remolcados.
- f) Vibratorios.
- g) Combinaciones tales como: tambor vibratorio de acero liso, neumáticos y de tambor de acero liso, etc.

Para la construcción de terraplenes con ceniza volante, se utilizan compactadores del tipo vibratorio.

3.1.3.1 Rodillos vibratorios

Puede tratarse de rodillos lisos o rodillos pata de cabra. Añaden un efecto más de compactación al equipo; al transmitir al suelo una sucesión de impactos que ocasionan ondas de presión y hacen que las partículas se reacomoden, hasta alcanzar menor volumen posible.

En estos equipos el bastidor tiene un diseño especial que impide que las vibraciones de los rodillos se transmitan al mismo y al motor, dañándolos. Son máquinas de dos o tres cilindros que se emplean en la compactación de terraplenes. Los de tres ruedas, se fabrican en gran variedad de tamaños y de peso. Dentro de esta variedad, existen rodillos que pueden lastrarse para aumentar su eficiencia.

Los rodillos de 10 a 12 toneladas, compactan capas hasta de 25 cm de espesor, ver figura 47.

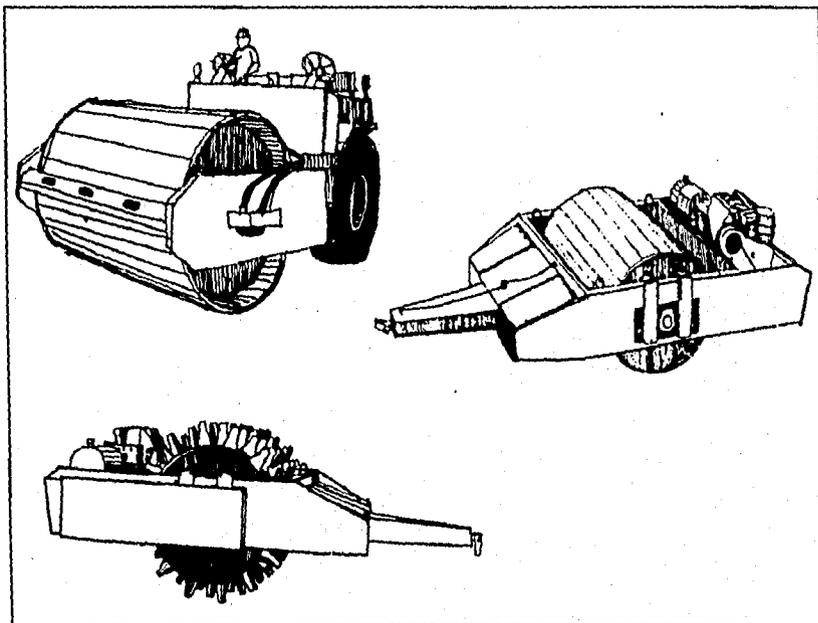


FIGURA 47 COMPACTADORES DE RODILLOS VIBRATORIOS

La fórmula para determinar su rendimiento teórico es la siguiente:

$$R = \frac{E \times A \times V \times e \times 1000}{N}$$

Donde:

- R = Rendimiento teórico de la máquina, al ejecutar un trabajo durante una unidad de tiempo.
- E = Factor de eficiencia durante el trabajo, varía de 0.70 a 0.75 promedio.
- A = Ancho efectivo del rodillo de la máquina.
- V = Velocidad de la máquina al realizar el trabajo, es conveniente calcularla, utilizando los datos del fabricante, afectados por coeficientes de eficiencia, (km/h).
- e = Espesor de la capa por compactar.
- N = Número de pasadas que requiere la máquina para una compactación.

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: COMPACTADOR DE SUELOS DE TAMBOR LISO VIBRATORIO CATERPILLAR CS 533 DE 145 HP Y 11.13 TONLADAS DE PISO DE OPERACION Y 2.03 M DE ANCHO DEL TAMBOR.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición	(Va) =	S 652359.40
Horas anuales de uso	(Ha) =	1600.00 hrs
Vida económica	(V) =	10.00 hrs
Tasa de seguro	(s) =	2.00
% de mantenimiento	(Q) =	90.00
% de rescate	(r) =	20.00
Tasa de interés	(i) =	16.00
Vr= Va * r	=	S 130 471.88
Ve= V * Ha	=	16 000.00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación:	D	= (VA - Vr)/Ve	S 32.02/hr
b) Inversión:	I	= 1 * (Va + Vr)/2 * Ha	S 39.14/hr
c) Seguros:	S	= s * (Va + Vr)/2 * Ha	S 4.89/hr
d) Mantenimiento:	M	= Q * D	S 29.36/hr
Total de cargos fijos =			S 106.01/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	importe
Diésel	lt	22.0000	1.51	S 33.22/hr
Acete lubricante	lt	0.2000	10.43	S 2.09/hr
2 llantas 23.1-26 8 r-3 goodyear	jgo	0.0005	10186.00	S5.09/hr
Total de consumo =				S 40.40/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Operador 3º para equipos medios	hor	0.1500	178.04	S 26.71/hr
Total de operación =				S 26.71/hr
Total de costo horario =				S 173.11/hr

3.1.4 Cargadores

La transformación o adaptación más avanzada del empujador, es el cargador frontal con cucharón en el extremo, que puede mover una amplia variedad de materiales, en mayores cantidades y a menor costo; gracias a la velocidad, potencia y movilidad, operando eficazmente.

Los cargadores son equipo de carga y algunas veces se les usa para pequeños acarrees, los cuales no deben exceder de 60 m para que se recomiende esta utilización.

Esta máquina ha sustituido con ventajas a las pesadas palas mecánicas.

Por conveniencia, se puede clasificar a los cargadores desde dos puntos de vista: en cuanto a su forma de descarga y en cuanto al tipo de su rodamiento.

- A) Por la forma de efectuar la descarga se clasifican en:
 - a) Descarga frontal.
 - b) Descarga lateral.
 - c) Descarga trasera.

- B) Por la forma de rodamiento.
 - a) De orugas.
 - b) De llantas.

Para la construcción de terraplenes con ceniza volante, se utiliza cargadores frontales.

Los cargadores frontales sobre neumáticos, son más adecuados que los de oruga en las siguientes situaciones: cuando la distancia de acarreo sea considerable; cuando los materiales de la superficie de rodamiento sean abrasivos y provoquen desgaste excesivo de las orugas y mejor aún si es suelo duro y seco; cuando los materiales están sueltos y puedan atorarse fácilmente con el cucharón; cuando se cuente con suficiente espacio para maniobrar, etc. Ver figura 48.

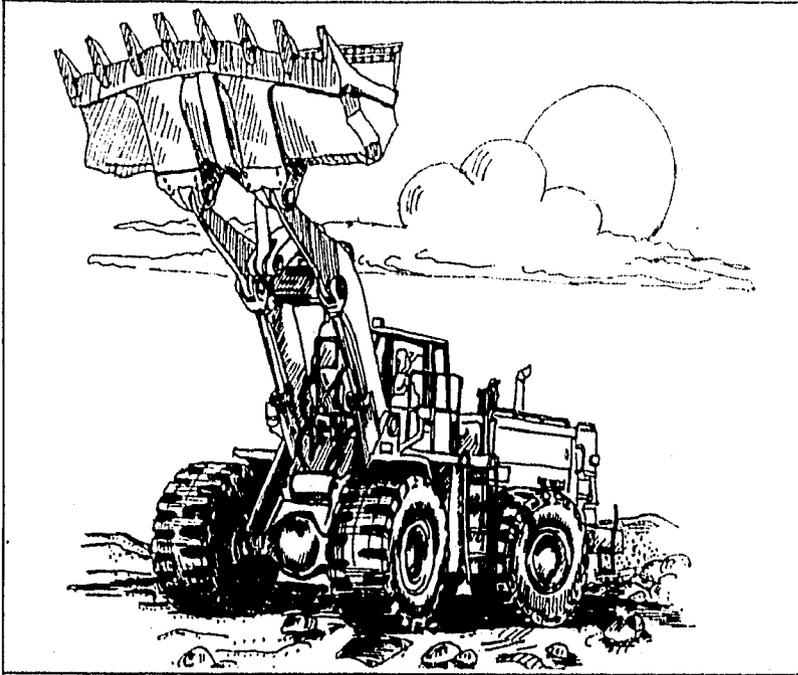


FIGURA 48 CARGADOR FRONTAL MONTADO SOBRE LLANTAS

Los cargadores montados sobre orugas, son más convenientes de utilizar en terrenos sueltos y en aquellos trabajos que requieran buena tracción de máquina; cuando no se requieran muchas maniobras por parte de la máquina; cuando se trate de material duro y difícil de excavar y, por lo regular, se manejan volúmenes pequeños.

En resumen, mientras que los cargadores frontales sobre llantas son más veloces y maniobrables que los de oruga en detrimento de la tracción, estos últimos tienen como característica principal su buena tracción y baja velocidad, ver figura 49.

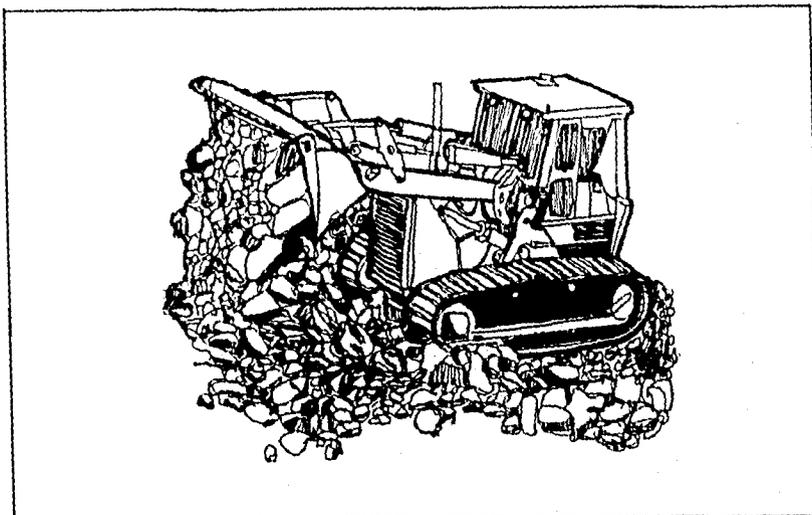


FIGURA 49 CARGADOR FRONTAL SOBRE ORUGAS

La fórmula para determinar su rendimiento teórico es la siguiente:

$$R = \frac{C \times K \times 60}{C_a \times T}$$

Donde:

R = Rendimiento teórico de la máquina, al ejecutar un trabajo durante una unidad de tiempo.

C = Capacidad nominal del cucharón.

K = Factor de llenado, también denominado factor de eficiencia del cucharón.

C_a = Es el coeficiente de abundamiento, de cada material.

T = Es el tiempo empleado en realizar un ciclo de trabajo, está formado por la suma de tiempos fijos más tiempos variables; expresado ya sea en segundos, minutos o fracciones de hora.

ANÁLISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: CARGADOR SOBRE NEUMATICOS CATERPILLAR 988 F DE 400 HP Y 44.037 TON DE PLSO DE OPERACION Y 7.8 YD*3 DE CAPACIDAD DE CUCHARON.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición	(Va) =	\$ 3.937.564,40
Horas anuales de uso	(Ha) =	2.000,00 hrs
Vida económica	(V) =	7,00 hrs
Tasa de seguro	(s) =	2,00
% de mantenimiento	(Q) =	75,00
% de rescate	(r) =	20,00
Tasa de interés	(i) =	16,00
$Vr = Va * r$	=	\$ 787.512,88
$Ve = V * Ha$	=	14.000,00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación:	D =	$(Va - Vr)/Ve$	\$ 225,00/hr
b) Inversión:	I =	$I * (Va + Vr)/2 * Ha$	\$ 189,00/hr
c) Seguros:	S =	$s * (Va + Vr)/2 * Ha$	\$ 23,63/hr
d) Mantenimiento:	M =	$Q * D$	\$ 168,75/hr
Total de cargos fijos =			\$ 606,38/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Diésel	lt	32.5000	1,51	\$ 49,08/hr
Aceite lubricante	lt	0,4875	10,43	\$ 5,08/hr
Total de consumo =				\$ 54,16/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Operador 2º para equipos mayores	hor	0,1500	190,75	\$ 28,61/hr
Total de operación =				\$ 28,61/hr
Total de costo horario =				\$ 689,16/hr

3.1.5 Retroexcavadoras

Son máquinas propias para excavar zanjas o trincheras, que retroceden durante el proceso de trabajo. En la figura 50, se representa un dibujo esquemático con sus dimensiones de operación, las cuales varían de acuerdo con los modelos.

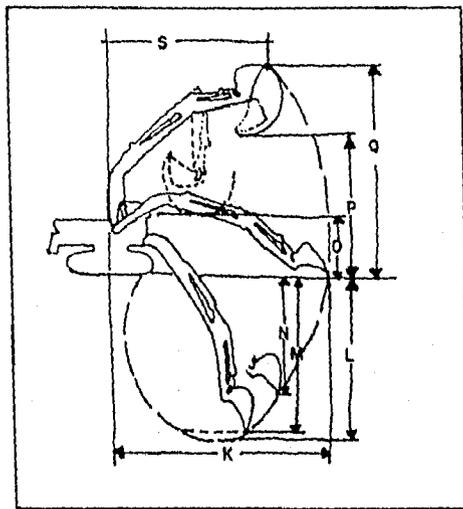


FIGURA 50 RETROEXCAVADORA

Dimensiones de operación:

- K = Alcance máximo a ras del suelo.
- L = Profundidad máxima.
- M = Profundidad de excavación.
- N = Profundidad máxima de pared vertical.
- O = Espacio libre mínimo para cargar camiones.
- P = Espacio libre máximo para cargar camiones.
- Q = Altura máxima hasta el diente del cucharón.
- S = Alcance máximo a pleno ascenso del agullón.

Los cucharones que emplea esta máquina pueden ser anchos o angostos; anchos para suelos fáciles de atacar y angostos para terrenos duros o difíciles.

La fórmula para determinar su rendimiento teórico es la siguiente:

$$R = \frac{C \times K \times E \times 3600}{T}$$

Donde:

R = Rendimiento teórico de la máquina, al ejecutar un trabajo durante una unidad de tiempo.

C = Capacidad nominal del cucharón.

K = Factor de llenado; también denominado factor de eficiencia del cucharón.

E = Factor de eficiencia durante el trabajo, varía de 0.70 a 0.75 promedio.

T = Es el tiempo empleado en realizar un ciclo de trabajo, está formado por la suma de tiempos fijos más tiempos variables; expresado ya sea en segundos, minutos o fracciones de hora.

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: CARGADOR RETROEXCAVADOR CATERPILLAR 426 B DE 79 HP Y 6.79 TONELADAS DE PESO DE OPERACION.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición	(Va) =	\$ 447832.00
Horas anuales de uso	(Ha) =	1600.00 hrs
Vida económica	(V) =	10.00 hrs
Tasa de seguro	(s) =	2.00
% de mantenimiento	(Q) =	60.00
% de rescate	(r) =	44.00
Tasa de interés	(i) =	16.00
Vr= Va * r	=	\$ 197046.08
Ve= V * Ha	=	16 000.00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación:	D = (Va - Vr)/Ve	\$ 15.67/hr
b) Inversión:	I = I * (Va + Vr)/2 * Ha	\$ 32.24/hr
c) Seguros:	S = s * (Va + Vr)/2 * Ha	\$ 4.03/hr
d) Mantenimiento:	M = Q * D	\$ 9.40/hr
Total de cargos fijos =		\$ 61.35/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Diésel	lt	79000	1.51	\$ 11.93/hr
Acete lubricante	lt	0.1185	10.43	\$ 1.24/hr
2 llantas delanteras 111-16 8 pr jgo		0.0005	8455.20	\$ 4.23/hr
2 llantas traseras 16.9-24 8 pr				
Total de consumo =				\$ 17.39/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Operador 3º para equipos medios	hor	0.1500	178.04	\$ 26.71/hr
Total de operación =				\$ 26.71/hr
Total de costo horario =				\$ 105.45/hr

3.1.6 Camiones fuera de carretera

Son vehículos similares a los camiones de volteo, pero que se diseñan para transportar grandes volúmenes de material, emplean llantas dobles en el eje de propulsión, ver figura 51.

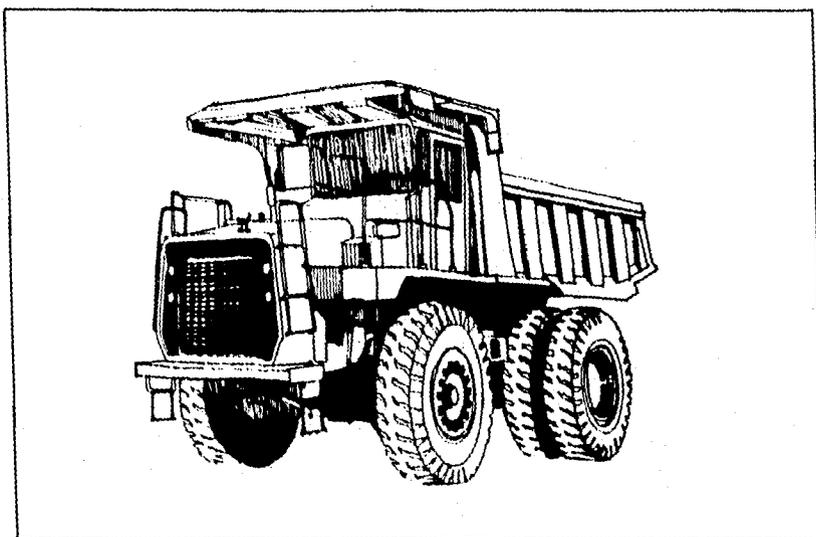


FIGURA 51 CAMION FUERA DE CARRETERA

No se sujetan a ninguna restricción legal respecto al peso o tamaño, que pueden ser de una anchura de 2.50 a 4.50 m alcanzando velocidades máximas de 70 km/h aunque su potencia y las pendientes permiten velocidades mayores. Para estos el número de velocidades sobrepasa al de los vehículos ordinarios, llegando a ser en ocasiones hasta de diez o más en marcha hacia adelante y de una a tres en

reversa.

Dentro de la división de los camiones fuera de carretera, se encuentran los de volteo, este camión está diseñado para circular dentro y fuera de las carreteras tanto para los camiones de tipo ligero como pesado. Estas máquinas constan de una caja metálica o volteo, que es de accionamiento hidráulico y de descarga trasera, puede ser de tipo ordinario o del que se usa para rocas, aunque también las hay con equipos desmontables, donde la caja o recipiente que se deposita sobre el suelo para la carga, es levantada dentro del camión y de vuelta a éste mediante un sistema elevador hidráulico o mecánico, un solo camión es capaz de trabajar con varios recipientes a la vez acomodándolos uno encima de otro.

En la actualidad en el mercado existen camiones con capacidades como se aprecia en la siguiente relación:

<u>MODELO</u>	<u>CAPACIDAD</u>	<u>POTENCIA</u>
769 C	31.8 Ton.	450 hp.
773 B	45.4 Ton.	650 hp.
777	77 Ton.	870 hp.

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: CAMION FUERA DE CARRETERA CATERPILLAR 771 C DE 450 HP, 18 M³ RAS 40 TONELADAS.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición (Va) =		\$ 3 616 351.66
Horas anuales de uso (Ha) =		2 000.00 hrs
Vida económica (V) =		16.00 hrs
Tasa de seguro (s) =		2.00
% de mantenimiento (Q) =		80.00
% de rescate (r) =		20.00
Tasa de interés (i) =		16.00
Vr= Va * r	=	\$ 723 370.33
Ve= V * Ha	=	32 000.00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación: D	= (VA - Vr)/Ve	\$ 90.41/hr
b) Inversión: I	= i * (Va + Vr)/2 * Ha	\$ 173.58/hr
c) Seguros: S	= s * (Va + Vr)/2 * Ha	\$ 21.70/hr
d) Mantenimiento: M	= Q * D	\$ 72.33/hr
Total de cargos fijos =		\$ 358.02/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Diésel	lt	35.0000	1.51	\$ 52.85/hr
Aceite lubricame	lt	0.7000	10.43	\$ 7.30/hr
6 llantas 24 x 35 36 pr e-4	jgo	0.0005	186 030.00	\$93.02/hr
Total de consumo =				\$ 153.17/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Operador 1º para equipos superiores	hor	0.1500	206.67	\$ 31.00/hr
Total de operación =				\$ 31.00/hr
Total de costo horario =				\$ 542.19/hr

ANALISIS DEL COSTO DE HORA MAQUINA

MAQUINA: CAMION PIPA DE 8 000 LITS SOBRE CHASIS MERCEDES BENZ 1617 DE 170 HP.

DATOS GENERALES:

Valor de adquisición	(Va) =	\$ 291 740.00
Horas anuales de uso	(Ha) =	1800.00 hrs
Vida económica	(V) =	5.00 hrs
Tasa de seguro	(s) =	2.00
% de mantenimiento	(Q) =	65.00
% de rescate	(r) =	10.00
Tasa de interés	(i) =	16.00
$Vr = Va * r$	=	\$ 29 174.00
$Ve = V * Ha$	=	9 000.00 hrs

CARGOS FIJOS:

a) Depreciación:	D	= $(Va - Vr)/Ve$	\$ 29.17/hr
b) Inversión:	I	= $i * (Va + Vr)/2 * Ha$	\$ 14.26/hr
c) Seguros:	S	= $s * (Va + Vr)/2 * Ha$	\$ 1.78/hr
d) Mantenimiento:	M	= $Q * D$	\$ 18.96/hr
Total de cargos fijos =			\$ 64.18/hr

CONSUMOS:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	importe
Diésel	lt	17.0000	1.51	\$ 25.67/hr
Aceite lubricante	lt	0.2550	10.43	\$ 2.66/hr
6 llamas 900 x 20 pxn 12 capas	jgo	0.0005	7 890.00	\$3.95/hr
Total de consumo =				\$ 32.27/hr

OPERACION:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	importe
Chofer de segunda	por	0.1500	133.54	\$ 20.03/hr

Total de operación = \$ 20.03/hr

Total de costo horario = \$ 116.49/hr

3.2 DESMONTE

Como desmonte debe entenderse la acción de tala, derribo o corte de especies vegetales existentes.

Antes de iniciar los trabajos para formar terraplenes con ceniza, se despeja la vegetación existente en el sitio de desplante de los terraplenes, para evitar la presencia de materia vegetal. Puede comprender la ejecución del total de las operaciones siguientes:

- a) Tala: Consiste en cortar árboles y arbustos.
- b) Roza: Consiste en quitar la maleza, yerba, zacate o residuos de las siembras.
- c) Desenralce: Consiste en sacar los troncos o tocones con raíces o cortando éstas.
- d) Limpieza y quema: Consiste en retirar el producto del desmonte y quemar lo no utilizable.

Las operaciones de tala, roza, limpieza y quemado, se ejecutan en todo o en parte del sitio donde se van a construir los terraplenes.

Estos trabajos deben ejecutarse de manera que se asegure que toda la materia vegetal, proveniente del desmonte, quede fuera de los sitios de terraplenes, para que no se mezcle con la ceniza que se va a depositar.

El desmonte consiste en el corte con sierras motrices o manuales de árboles aprovechables, su derribo mediante la acción de empuje de tractores o, en el caso de especies menores, su corte con equipos motorizados para poda.

Las condiciones del sitio, deben dictar el procedimiento a seguir.

Cuando el lugar donde se coloca el terraplén está poblado de árboles aprovechables, habrá de requerirse un proceso acelerado de derribo de los especímenes y su eliminación de la rama y el transporte de los troncos al aserradero. Los troncos y raíces deben extraerse empleando tractores (equipados

con arado de requerirse).

El producto debe juntarse con el desecho no aprovechable y quemarlo, tomando las precauciones necesarias para no provocar incendios forestales. Si las especies no son aprovechables, se derriban con tractor y se procede a su quema, también en este caso habrá que efectuar el desenraice.

3.3 DESPALME

Se entenderá por despalme a la operación de corte, extracción y acarreo a otro sitio de la capa de suelo vegetal existente en la superficie.

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes o rellenos, se despalmará el sitio, desalojando la capa superficial del terreno natural, con la finalidad de eliminar el material que se considere inadecuado, ya que la presencia de componentes orgánicos, alteran las características del terreno, impidiendo un adecuado procedimiento de consolidación en la compactación. La profundidad del despalme la dictará el estudio geológico preliminar y deberá ser suficiente para descubrir la capa sana sobre la que descansará el terraplén de ceniza.

Se rellenarán los huecos motivados por el desenraice, se escarificará y se compactará el terreno natural o el despalmado en el área de desplante y en el espesor ordenado, hasta alcanzar el grado de compactación adecuado.

El despalme se ejecutará solamente en material tipo "A" (material blando o suelto), que puede ser eficientemente removido. Se considera como material tipo "A", a los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7,5 cm de tamaño máximo. Los materiales, más comúnmente clasificados como material "A", son los suelos agrícolas, los limos y las arenas.

Para la ejecución de este trabajo, se puede utilizar un tractor sobre orugas o ruedas con cuchilla.

El material, producto del despalme, se colocará en el lugar apropiado que no entorpezca las actividades subsiguientes.

3.4 TRANSPORTE DE LA CENIZA

Por su sistema de rodamiento, el transporte puede realizarse sobre orugas, neumáticos o rieles. También existen los medios de transporte por banda y por tubería.

En cuanto a los sistemas de transporte, se recomienda que el transporte se realice mediante la vía húmeda, debido principalmente a que el riesgo de contaminación a acuíferos, es menor que si se usa vía hidráulica, ya que no habría necesidad de construir bordos de contención, necesarios para esta última. Con el uso de vía húmeda, la misma ceniza se coloca en capas, conformando taludes adecuados que garanticen su estabilidad.

Para transportar la ceniza hacia los sitios de terraplenes, se pueden utilizar camiones fuera de carretera, bandas transportadoras o carros de ferrocarril.

En cuanto al equipo de acarreo, para el caso de camiones fuera de carretera, éstos tienen las siguientes ventajas:

- a) Fácil movilidad.
- b) Adaptación a varios tipos de caminos.
- c) Altas velocidades.
- d) Facilidad en las reversas.

Para una mejor eficiencia en el acarreo, se requiere que a los accesos, rampas y caminos, se les dé mantenimiento constante y que se construyan con pendientes adecuadas.

Para el equipo de acarreo, se utilizará maquinaria que, contando con un sistema adecuado de carga y descarga, pueda transportar la ceniza a sitios prefijados.

Si el acarreo de ceniza se realiza con cantones fuera de carretera, éstos deberán contar con un sistema de sellado de las tapas para evitar al máximo el derramamiento de ceniza en los caminos.

Debe verificarse que, durante el transporte, la ceniza contenga una humedad tal que se evite en lo posible su dispersión en forma de polvo.

3.5 TIPOS DE CAMINOS

Los caminos provisionales permiten el movimiento del equipo hacia las diferentes secciones de la obra. Las terracerías siguen el contorno del terreno tan de cerca como sea posible. La pendiente máxima dependerá del uso a que se le destine. Las palas, tractores y camiones con cargas ligeras, pueden subir por cuestas hasta del 30 %. Resultan más prácticas las pendientes del 10 al 15 %.

Los caminos de acarreo deben soportar el paso de camiones muy cargados a una velocidad regular. Estos caminos tendrán un tránsito más intenso durante un período limitado y con frecuencia se abandonan.

3.6 TENDIDO DE LA CENIZA

La formación de terraplenes para la disposición final de la ceniza, se justifica cuando se localicen y se pueda disponer de grandes extensiones, sensiblemente planas y cercanas a la Central Carboeléctrica.

En la colocación de la ceniza volante, se debe considerar:

- a) Las bases para terraplenes.
- b) La formación de los terraplenes.
- c) La ampliación de la corona en los terraplenes.

- d) El tendido de taludes de terraplenes ya existentes.
- e) La conformación de taludes.
- f) La colocación de la ceniza en rellenos.

3.6.1 Bases para los terraplenes

Es conveniente que los terraplenes queden bien unidos a la superficie sobre la que descansan, para evitar la formación de zonas saturadas, canales de agua y posiblemente el abatimiento de los taludes, lo que se puede lograr generalmente quitando la vegetación, la tierra vegetal y arando surcos en dirección transversal al talud del terreno. Cuando el área que se va a terraplenar está mojada, irregular, o que de alguna manera impida el paso de la maquinaria, la primera capa se construye, descargando la carga de los camiones de volteo en el terreno y emparejando el material con un tractor hasta una altura que sea cuando menos suficiente para soportar las unidades de acarreo sobre los lugares blandos. Si la superficie es irregular pero transitable, se pueden rellenar los lugares bajos con capas compactadas, o quitar las salientes, antes de colocar la parte principal del terraplén.

Los terraplenes que se construyen en las laderas, tienen la tendencia a deslizarse a lo largo de la superficie original, a menos que se les hagan escalones. El dejar tocones y piedras grandes; hacer surcos con arados; colocar drenes subterráneos que detengan las filtraciones de agua a lo largo de la unión; todos éstos son métodos comunes de reducir este peligro.

También, el terraplén puede desplantarse en una base protectora formada con arcilla en dos capas de 25 cm, cada una para dar un total de 50 cm, el tratamiento de cada capa de arcilla consistirá en la incorporación de agua para su homogeneización, extendido, compactación al 93 % Proctor, nivelación y afine.

3.6.2 Formación de los terraplenes

Antes de iniciar la construcción de los terraplenes de ceniza, es necesario que el terreno esté debidamente preparado y que tenga terminada la construcción de las obras de drenaje.

Al descargar la ceniza de los camiones fuera de carretera, si ésta no tiene la humedad necesaria, se le agregará agua de un 10 al 15 % aproximadamente; en el caso de la ceniza volante para llegar al 30 % de humedad, que es el óptimo para su tratamiento y compactación.

En el caso de la ceniza de fondo, la humedad con la que llega es variable, siendo necesario que los supervisores y que los regadores aprendan a distinguir el grado de humedad prácticamente, ya que esta ceniza, requiere de un 45 % de humedad.

Existen dos formas de acomodo de la ceniza, una de ellas es el acomodo en forma horizontal, y otra es el acomodo a volteo. A continuación se describe el proceso de acomodo de la ceniza en forma horizontal y en páginas posteriores se explicará con un ejemplo, el acomodo de ceniza a volteo.

La ceniza se podrá extender con un tractor de orugas con cuchilla, en módulos de 50 m de longitud y se acomodará en capas de 30 cm, y a todo lo ancho del terraplén, nivelando cada capa con una motoconformadora para que posteriormente sea compactada, con un rodillo liso vibratorio para alcanzar una compactación del 93 % Proctor, equivalente a una densidad relativa del 70 %. Siempre que la topografía del terreno lo permita, los terraplenes de ceniza se construirán en capas horizontales, a todo lo ancho de la sección, con el espesor uniforme mencionado, hasta formar los terraplenes o pilas con la altura de proyecto.

Terminada la capa, se procede a formar la siguiente capa y así sucesivamente hasta llegar a la altura de ceniza proyectada.

En lo que respecta a las aristas en los terraplenes, se observa que si un terraplén

es alto, las orillas pueden ser peligrosas a menos que se hagan con cuidado especial. Los problemas que se presentan son: Mantenerlas en su alineamiento correcto en el talón con el talud correcto, darles toda la compacidad posible y no rodar maquinaria fuera de ellas.

A estos problemas los afecta la naturaleza del terraplén, por su altura y talud. El terraplén deberá tener una pendiente ascendente en la superficie hacia las orillas, para inclinar el centro de gravedad de la maquinaria hacia el centro y disminuir el peligro de derrumbes, ver figura 52.

Si el trabajo se interrumpe durante el periodo de lluvias, puede ser prudente dar bombeo al terraplén para que drene.

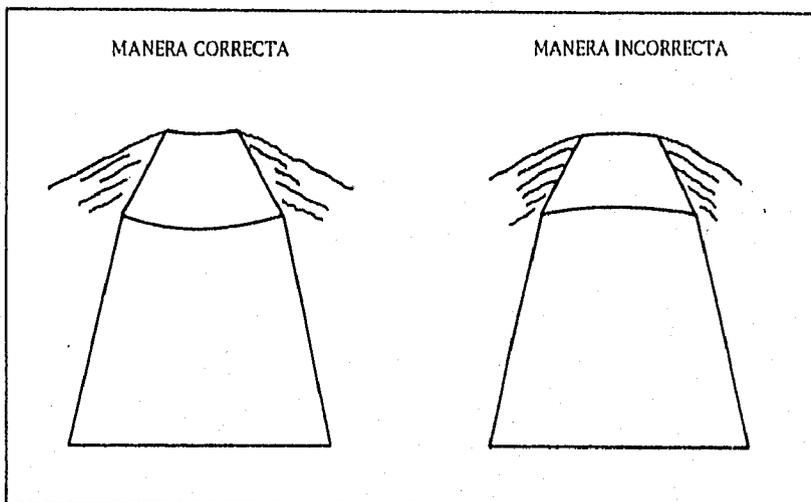


FIGURA 52 SECCION TRANSVERSAL DE UN TERRAPLEN

3.6.3 Ampliación de la corona en los terraplenes

Cuando se vaya a ampliar la corona de los terraplenes, para obtener una liga en todo el talud existente, entre la ceniza sin compactar y la ceniza compactada, se recomienda construir escalones de liga en el talud del terraplén existente.

Conforme se vaya construyendo la ampliación del terraplén, se recortará el escalón de liga recomendado, cuyo peralte será igual al espesor de la capa que se esté formando. Cada capa así formada se compactará al grado fijado. Ver figura 53.

En la ampliación de la corona de terraplenes existentes ver figura 54, para obtener una buena liga entre la ceniza que se utilice y el terraplén existente, en términos generales se procederá como sigue:

- a) Se despalmará el sitio del desplante de los terraplenes, recortando el primer escalón de liga al pie del talud del terraplén.
- b) Se rebajará horizontalmente la parte superior del terraplén a todo lo ancho de la sección. El rebaje se efectuará por capas del espesor necesario que fije el proyecto.
- c) El material (ceniza) producto del rebaje de cada capa, se colocará y extenderá al pie del terraplén a partir del desplante de la ampliación, recortando simultáneamente el escalón de liga correspondiente, cuyo peralte será igual al espesor de la capa que se está formando.
- d) Se compactará el material de la capa extendida.

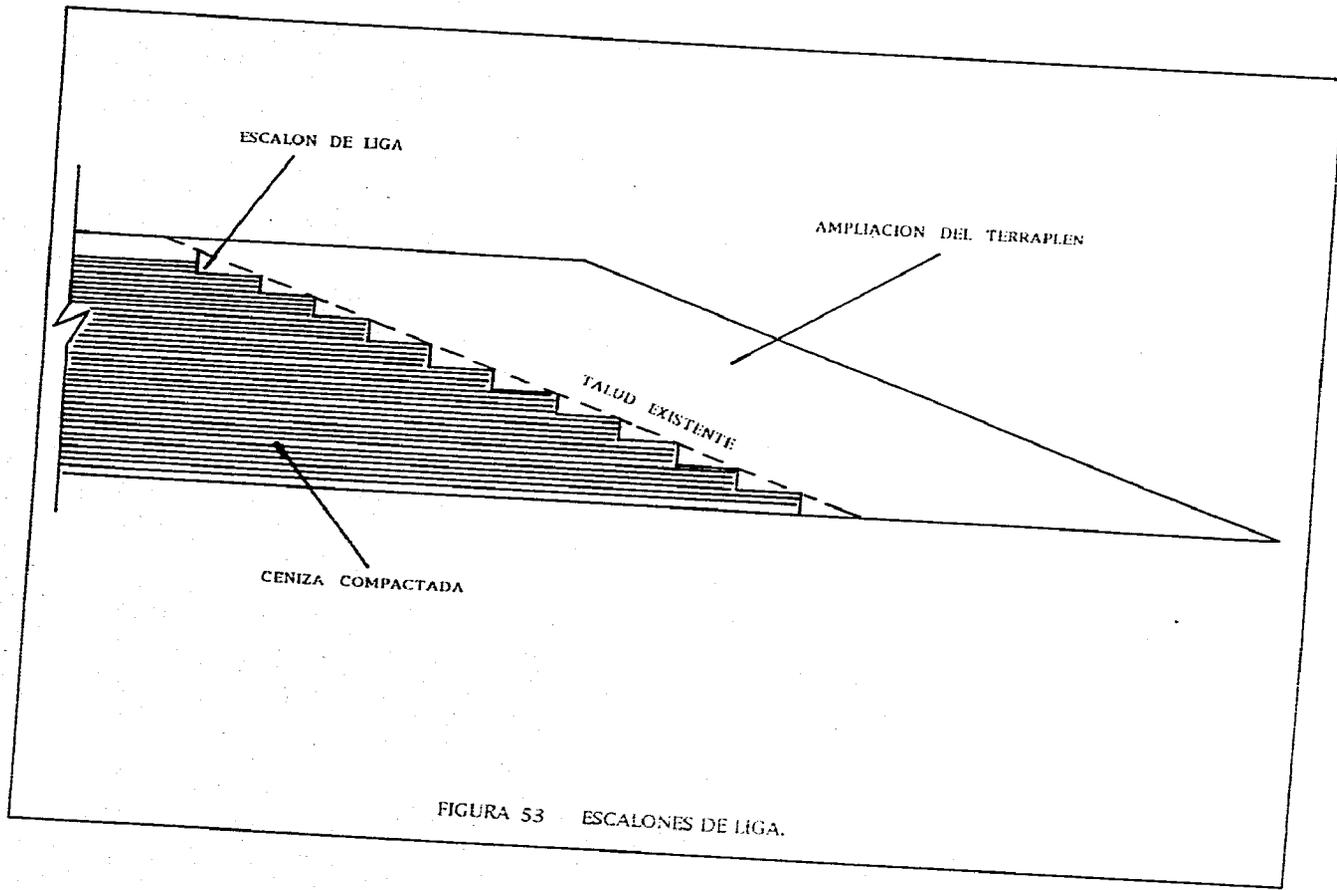


FIGURA 53 ESCALONES DE LIGA.

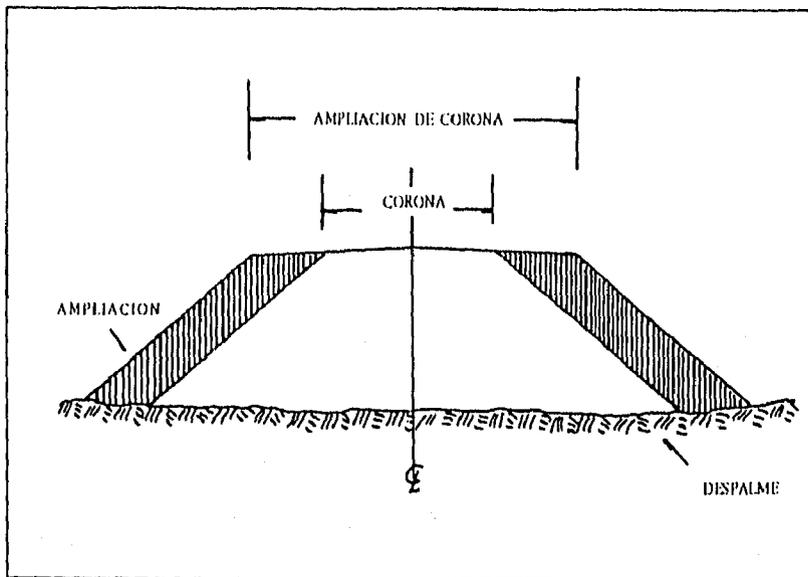


FIGURA 54 AMPLIACION DE CORONA

3.6.4 Tendido de taludes de terraplenes ya existentes

En el tendido de taludes de terraplenes existentes en los que no se vaya a modificar el ancho de la corona, ver figura 55, para obtener una buena liga entre la ceniza que se utilice y el terraplén existente, en términos generales se procederá como sigue:

- a) Se despalmará el sitio del desplante de los terraplenes, recortando el primer escalón de liga al pie del talud del terraplén.
- b) La ceniza para tendido, se colocará por capas y al extenderlo para formarlas,

se harán recortes o escalones en el talud del terraplén existente, cuyo peralte será aproximadamente igual al espesor de la capa suelta que se está formando.

- e) Las capas así formadas se compactarán.

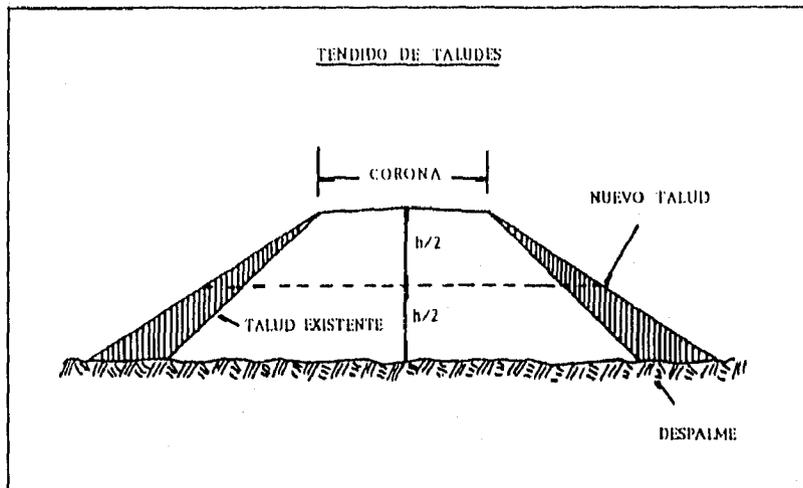


FIGURA 55 TENDIDO DE TALUDES

3.6.5 Conformación de taludes

En taludes moderados, un tractor de bandas anchas puede trabajar en el talud, en fajas horizontales de arriba a abajo. Los más inclinados pueden requerir movimientos diagonales. El uso de motoconformadoras en los taludes laterales moderados, o de los tractores en los muy inclinados, pueden hacerse más seguros, atándolos con cables a otras máquinas que caminen en una dirección paralela en la parte superior del talud. Se usan dos cables unidos al frente y a la parte trasera

de la máquina.

Es peligroso operar máquinas sin sostenes de cable a lo largo de taludes que contienen rocas, lugares blandos, o terreno congelado.

3.6.6 Colocación de la ceniza en rellenos

Se puede aprovechar el espacio de pequeñas cuencas o depresiones ubicadas cerca de la Central para la disposición final de la ceniza, relleno con ésta el volumen de las pequeñas cuencas.

De la misma manera que en la formación de terraplenes, en este caso será necesario que el terreno, esté debidamente preparado (desmontado y despalmado) y que se hayan terminado de construir las obras de drenaje.

Siempre que la topografía del terreno lo permita; se rellenará también en capas sensiblemente horizontales y con un espesor aproximado de 30 cm.

Cuando la topografía del terreno sea tal que presente lugares inaccesibles al equipo de construcción, tales como depresiones profundas y angostas o laderas muy pronunciadas, donde no sea posible la construcción por capas compactadas, se rellenarán a volteo esos lugares inaccesibles, hasta la mínima altura necesaria, para formar una plataforma, en la que se pueda operar el equipo, prosiguiendo el relleno con capas horizontales y compactadas.

Si la superficie del terreno es irregular pero transitable, se pueden rellenar los lugares bajos con capas compactadas.

Todo esto, se podrá hacer en lugares inaccesibles, siempre y cuando se tenga el control de los drenajes naturales y no sea fuente de contaminación de acuíferos.

Para el relleno con ceniza, se podrán utilizar tractores sobre orugas con cuchilla.

3.7 COMPACTACION DE LA CENIZA

Por medio de la compactación, se aumenta el peso volumétrico de la ceniza, se disminuye su permeabilidad y sus asentamientos diferenciales se reducen; es decir, que con la compactación, se obtiene una mayor resistencia al corte y una mínima variación volumétrica por cambios de humedad.

El éxito de toda compactación, depende de los métodos usados, del equipo seleccionado, del tamaño del área cargada, de la presión ejercida sobre ella y del espesor de la capa de la ceniza por compactar.

Conviene señalar que para obtener una buena compactación, se debe dar a la ceniza, el grado óptimo de humedad que le corresponde, ya que el exceso o carencia de agua dificulta la compactación.

El esfuerzo de compactación o energía transmitida a la ceniza, según el equipo y método empleado en dicho proceso, se puede lograr mediante peso estático, amasado, impacto o vibración.

La compactación de terraplenes se hará observando lo siguiente:

Para el uso de compactadores, se recomienda que las capas por compactar sean sensiblemente horizontales y homogéneas, tanto en composición como en humedad.

Es necesario que se hagan pruebas preliminares para establecer, de acuerdo al equipo disponible y al espesor de la capa por compactar, el número de pasadas del compactador.

Para la compactación de la ceniza, se podrá utilizar un rodillo liso vibratorio de 8 a 12 toneladas de peso.

Cuando la ceniza contenga mayor grado de humedad que el óptimo, antes de iniciar la compactación, se eliminará el agua excedente con la acción del sol y alre.

Efectuada la compactación de una capa de ceniza, su superficie se escarificará y se agregará agua si es necesario, antes de tender la siguiente capa, a fin de ligarlas debidamente.

La compactación se ejecutará uniformemente en la superficie del terraplén por compactar hasta alcanzar el 93 % Proctor del grado de compactación.

Con objeto de lograr que con el equipo de compactación se alcance el grado de compactación fijado en la sección del terraplén, lo que no es posible obtener en las orillas, los terraplenes se construirán con una corona más ancha que la teórica del proyecto y con un talud diferente, que se encontrará con el talud teórico del proyecto en la línea de los cerros; se obtendrán así las cuñas laterales de sobreebancho, en las cuales la compactación podrá ser menor que la fijada. El proyecto incluirá las dimensiones de las cuñas de sobreebancho, las que serán recortadas una vez que se haya terminado la construcción del terraplén, dejando el talud debidamente afinado.

Si la superficie del terreno es irregular pero transitable, se pueden rellenar los lugares bajos y compactar la ceniza con equipo menor, como las apisonadoras que, como su nombre lo indica, se usan para apisonar y compactar terrenos no accesibles para otro tipo de equipo o maquinaria.

En la compactación, no es conveniente que un equipo pesado comience una nueva ruta en un depósito de ceniza en terraplén o relleno, porque los esfuerzos producidos por la máquina son excesivos. El primer recorrido lo hace un equipo ligero, después pueden circular los equipos más pesados. Durante el extendido de la ceniza ya sea con el tractor de orugas o con la motoconformadora se está aplicando una compactación ligera.

Un depósito de ceniza en terraplén bien compactado tiene mayor resistencia y no absorbe el agua de lluvia con facilidad, por lo que el terraplén formado con la ceniza, permanecerá lo suficientemente estable aún en las lluvias fuertes.

3.7.1 Verificación del grado de compactación

Para verificar el grado de compactación de la ceniza, se deberán realizar sondeos con la finalidad de evaluar tanto la humedad de la ceniza compactada, como el peso volumétrico seco de esta.

La distribución de los sitios, en donde se deberán realizar los sondeos para la verificación del grado de compactación, se indica en la forma esquemática de la figura 56, ubicación de calas, dependiendo la distribución real de las necesidades que se presenten.

Si no es el caso de obtener una compactación tan formal como ya se dijo antes, se puede compactar con el equipo de transporte y acomodo de la ceniza.

Para una mejor comprensión de lo explicado así como en el procedimiento sobre el registro de datos en los formatos correspondientes, a continuación se detalla un ejemplo de una prueba de campo, paso a paso con sus respectivos cálculos.

Se escoge el área a sondear en el tramo terminado, de acuerdo al formato de ubicación de calas y conforme al avance de ese momento. En este ejemplo se calcula la cala No. 6 484, muestreada en el tramo oriente del terraplén.

Ya sacada la cala, de acuerdo al procedimiento marcado, se procede a llenar la hoja de cálculo en campo de la siguiente manera:

SECCION DE DATOS GENERALES

ESTRUCTURA. - Nombre genérico del lugar donde se extrae la cala, en este caso banco "J".

FECHA. - La del día de realización de la prueba, para este ejemplo es el 20 de junio de 1996.

EQUIPO DE COMPACTACION. - Se anota el equipo utilizado en esta área, pudiendo ser tractor y/o Rodillo.

NUMERO DE PASADAS. - Es el número de veces que el equipo de compactación pasa por esa área.

TURNO. - El correspondiente (1º, 2º,3º) ejemplo 2º.

INSPECTOR. - Nombre del inspector, ejemplo: Juan Martínez.

OPERADOR. - Nombre del ayudante de turno, ejemplo: Justino Martínez.

CALCULO. - Apellido y/o firma de la persona que hizo los cálculos de la prueba.

LOCALIZACION DE LA CALA. - Sitio donde se obtuvo la muestra que puede ser lado oriente, lado centro, lado poniente, talud oriente, talud poniente, en este ejemplo lado oriente.

COORDENADAS. - N y E respectivamente.

ELEVACIONES. - La superficie del terraplén y la superior de cala.

PROFUNDIDAD DE CALA. - Se consideran 8 cm.

CALA No. - El número correspondiente, en este caso No. 6 484.

DATOS OBTENIDOS EN CALA. - Se anotan a continuación los datos obtenidos en cala que sean conocidos:

- (1) Peso inicial de arena más tolva (frasco), siendo éste sin variación 6,0 kg (5 kg de arena + 1.0 del frasco).
- (2) Peso arena sobrante más tolva: resulta de pesar la bolsa con arena sobrante retenida en el frasco y sumarle 1.0 kg.

Ejemplo: $\text{Peso de arena} = 0.379 \text{ kg} + 1.0 \text{ kg} = 1.379 \text{ kg}.$

(3) y (5) Se conocen los pesos de arena en cono y placa, y el peso volumétrico de

la arena, los cuales fueron determinados en el laboratorio. En este ejemplo (3) = 2.067 kg, y (5) = 1.375 kg/lt.

- (9) El peso húmedo de la cala, es el peso del material extraído en campo, (bolsa con ceniza) ejemplo 2.390 kg.

Se obtiene a continuación, el peso de la arena en cala (4), haciendo la siguiente operación:

$$(4) = (1) - (2) - (3) = 6.0 \text{ kg} - 1.379 \text{ kg} - 2.067 \text{ kg} = 2.554 \text{ kg.}$$

Se saca entonces el volumen de la cala (6).

$$(6) = \frac{(4)}{(5)} = \frac{2.554 \text{ kg}}{1.375 \text{ kg/lt}} = 1.857 \text{ lt.}$$

Hecho ésto, se calcula el peso volumétrico húmedo total de la cala (27)

$$(27) = \frac{(9)}{(6)} = \frac{2.390 \text{ kg}}{1.857 \text{ lt}} = 1.287 \text{ kg/lt.}$$

PESOS VOLUMETRICOS DEL CILINDRO:

Se conoce el peso del cilindro (11) y su volumen (13).

$$(11) = 3.240 \text{ kg} \quad (13) = 0.953 \text{ lt}$$

Se efectúa la prueba Proctor y al pesar el cilindro más el material, después de aplicados los golpes del plisón, tenemos el dato (10) = 4.480 kg.

Para obtener el peso del suelo húmedo (12) restamos:

$$(12) = (10) - (11) = 4.480 \text{ kg} - 3.240 \text{ kg} = 1.240 \text{ kg.}$$

El peso volumétrico húmedo, se calcula así:

$$(14) = \frac{(12)}{(13)} = \frac{1,240}{0,953} = 1,301 \text{ kg/lt.}$$

DETERMINACIONES DEL CONTENIDO DE AGUA:

El peso de la muestra húmeda, más cápsula, es (16) = 95.8 gr.

El peso de la muestra seca más cápsula (17), es el peso del mismo material después de secado en el horno (17) = 80.7 gr.

El peso del agua (18), se calcula restando:

$$(18) = (16) - (17) = 15,1 \text{ gr.}$$

El peso de la cápsula, es conocido previamente, así como su número que se anota en el recuadro indicado con el No.

Peso de la cápsula No. 30 = (19) = 20.7 gr.

El peso de la muestra seca, se calcula restando:

$$(20) = (17) - (19) = 80,7 \text{ gr} - 20,7 \text{ gr} = 60,0 \text{ gr.}$$

El contenido de humedad se calcula dividiendo:

$$(21) = \frac{(18)}{(20)} \times 100 = \frac{15,1 \text{ gr}}{60,0 \text{ gr}} \times 100 = 0,2517 \times 100 = 25,2 \%$$

Se repite esta secuencia para la muestra tomada y con los datos que se obtengan, se llena la columna cuyo encabezado es cilindro II, en la parte de determinaciones de contenido de humedad.

CILINDRO II.-

(16)	92.6
(17)	78.3
(18)	14.3
(19) No. (37)	22.0
(20)	56.3
(21)	25.4

Ya determinados ambos contenidos de humedad, se obtiene el promedio aritmético de éstos, en este caso:

$$\frac{25.2 + 25.4}{2} = 25.3 \%$$

A continuación se determina el peso volumétrico seco (35), de la siguiente manera:

$$(35) = \frac{(27)}{1 + (21)} + \frac{1.287 \text{ kg/lt}}{1 + 25.3} = \frac{1.287 \text{ kg/lt}}{1.253} = 1.027 \text{ kg/lt.}$$

De aquí nos vamos a determinar el peso volumétrico seco (15)

$$(15) = \frac{(14)}{1 - (21)} = \frac{1.301 \text{ kg/lt}}{1 + 0.253} = 1.038 \text{ kg/lt.}$$

Calculamos entonces la eficiencia del equipo (38):

$$(38) = \frac{(35)}{(15)} \times 100 = \frac{1.027 \text{ kg/lt}}{1.038 \text{ kg/lt}} \times 100 = 98.9 \%$$

De las pruebas que se efectúan en el laboratorio, se obtienen los pesos volumétricos máximo y mínimo de la ceniza en el mes, así como el peso seco

óptimo Proctor, siendo éstos:

P.V. MAX. = 1.080 kg/h
P.V. MIN. = 0.820 kg/h
P.S. OPTIMO = 1.103 kg/lt

Con estos datos, obtenemos la densidad relativa.

$$D.R. = \frac{PV - PV \text{ MIN}}{PV \text{ MAX} - PV \text{ MIN}} = \frac{1.027 - 0.820}{1.080 - 0.820} \times 100 = 79.6 \%$$

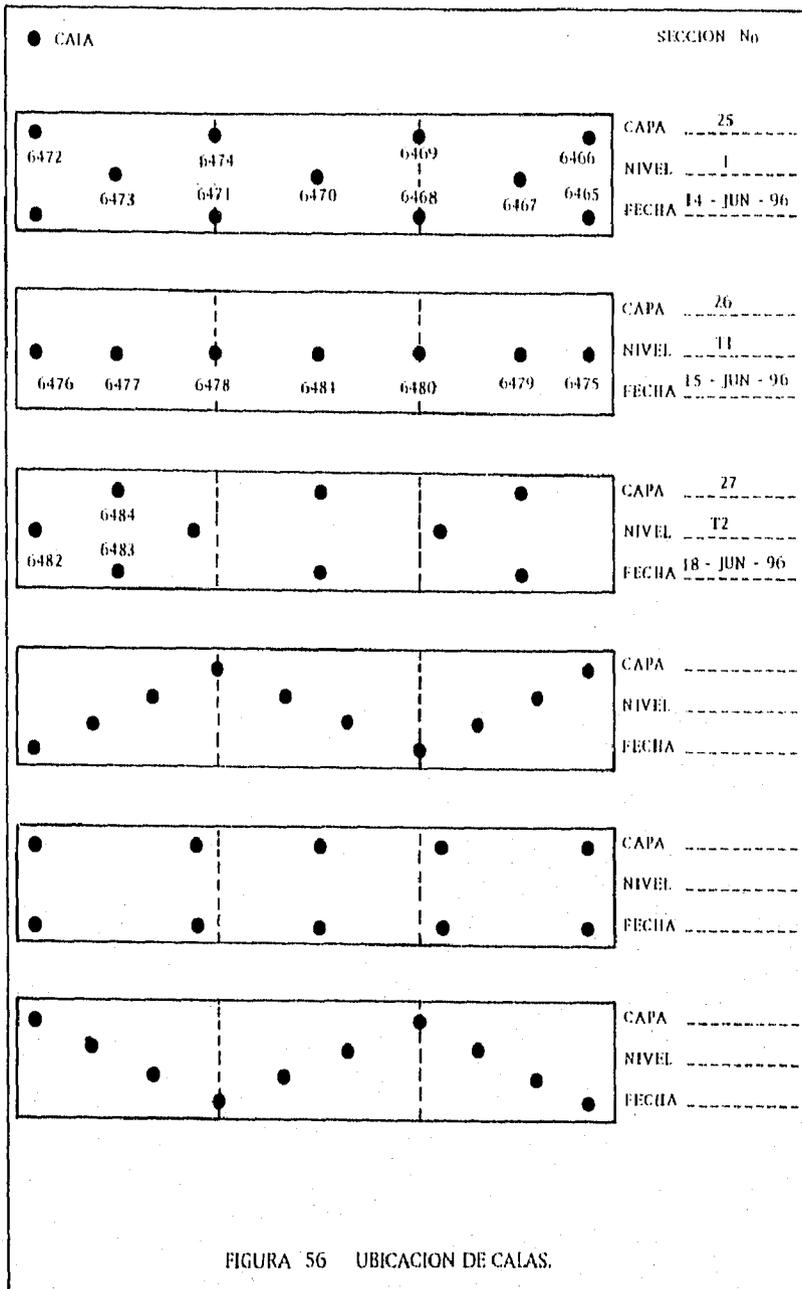
Por último con el peso volumétrico seco óptimo Proctor, se determina el porcentaje de compactación (40):

$$(40) = \frac{(35)}{(39)} \times 100 = \frac{1.027 \text{ kg/lt}}{1.103 \text{ kg/lt}} \times 100 = 93.1 \%$$

En la sección de observaciones se anotan:

TIPO DE CENIZA:	Volante, fondo, mixta.	Volante
CAPA No.	Capa No.	capa 27
SECCION	Módulo trabajado	19
R:T:	Resistencia al pene- trómetro en terreprén.	26
R.L.	Resistencia al pene- trómetro en el labo- ratorio.	52

Con ésto, hemos llenado la hoja de cálculo en el campo.



HOJA DE CALCULO EN CAMPO

ESTRUCTURA: BANCO 71 HORA: 20 DE JUNIO DE 1996
 EQUIPO DE COMPACTACION: COMPACTADOR CON RODILLO No. DE PASADAS: _____
 TURNO: 2º INSPECTOR: JUAN MARTINEZ OPERADOR: JUSTINO MARTINEZ CALCULO: _____
 LOCALIZACION CALA: ORIENTE No. _____ E. _____ CALA No. 6484
 ELEV. SUP. TERRAPLEN: _____ ELEV. SEP. CALA: _____ PROF. CALA: 8 CM

DATOS OBTENIDOS EN CALA

PISOS VOLUMETRICOS CILINDRO

- | | |
|---|--|
| (1) PESO INICIAL ARENA + TOLVA 6.000 Kg | (10) PESO SUELO HUMEDO + CILINDRO 4.480 Kg |
| (2) PESO ARENA SOBANTE + TOLVA 1.329 Kg | (11) PESO CILINDRO 3.240 Kg |
| (3) PESO ARENA EN CONO Y PL 2.067 Kg | (12) PESO SUELO HUMEDO (10) - (11) 1.240 Kg |
| (4) PESO ARENA EN CALA ((1) - (2) - (3)) 2.554 Kg | (13) VOLUMEN CILINDRO 0.953 U |
| (5) PESO VOLUMETRICO ARENA 1.375 Kg | (14) PESO VOLUMETRICO HUMEDO $\frac{(12)}{(13)}$ 1.301 Kg/U |
| (6) VOLUMEN CALA 1.857 U | (15) PESO VOLUMETRICO SECO $1.301 \times (21.11/100)$ 1.038 Kg/U |
| (7) PESO HUMEDO DE CALA + TARA 3.600 Kg | |
| (8) PESO TARA No. _____ | |
| (9) PESO HUMEDO EN CALA (7) - (8) 2.340 Kg | |

DETERMINACIONES DE CONTENIDO DE AGUA

SUELO 4 (I) CILINDRO (II) GRAVA 4 (III) U

- | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--|---|
| (16) PESO MTA. HUMEDO + CAPSULA 95.8 | (17) PESO MTA. SECO + CAPSULA 80.7 | (18) PESO DEL AGUA ((16) - (17)) 15.1 | (19) PESO CAPSULA No. 30 20.7 | (20) PESO MTA. SECA ((17) - (19)) 25.3 | (21) CONTENIDO DE HUMEDAD $\frac{(18)}{(20)} \times 100$ 25.2 |
| | | | No. 37 22.0 | | |

PISOS VOLUMETRICOS

DENSIDAD DE GRAVAS

- | | | | | | |
|---|---------------------------------|--|--|--|---|
| (27) PESO VOL. HUMEDO TOTAL CALA $\frac{(9)}{(6)}$ 1.287 Kg/U | (28) PESO HUMEDO GRAVA 1.375 Kg | (29) PESO HUMEDO SUELO $4 \times (9) - (75)$ 29 Kg | (30) PESO SECO SUELO $4 \times (21/100)$ 1.038 Kg | (31) PESO SECO GRAVA $\frac{28}{1 + (21.11/100)}$ 2.8 Kg | (32) PESO SECO TOTAL EN CALA ((30) + (31)) 3.876 Kg |
| (22) PESO SAT. Y SUP SECA MUESTRA 92.6 Gf | (23) VOLUMEN DESPLAZADO 78.1 cm | (24) PESO SECO MUESTRA 80.7 Gf | (25) PORCIENTO DE ABSORCION $\frac{(22) - (24)}{(24)} \times 100$ 14.2 | (26) DENSIDAD DE GRAVA $\frac{24}{25}$ 0.96 Kg/cm ³ | |

EFICIENCIA DEL EQUIPO

- | | | |
|--|--|--|
| (34) VOLUMEN SUELO $4 \times (6) - (31)$ 1.127 U | (35) PESO VOL SECO $4 \times (30) / (34)$ 1.027 Kg/U | (38) $\frac{(35)}{(15)} \times 100$ 98.9 % |
| | | DR $\frac{(35)}{(39)}$ 79.6 % |

RELACION DE VACIOS

POR CIENTO DE COMPACTACION

- | | | | |
|--|------------------------------------|--|---|
| (36) DENSIDAD SOLIDOS SUELO $4 \times (35)$ 4.108 Kg/U | (37) SUELO $4 \times (34)$ 4.508 U | (39) PESO SECO OPTIMO PROCTOR 1.103 Kg/U | (40) % COMPACTACION $\frac{(36)}{(39)} \times 100$ 91.1 % |
|--|------------------------------------|--|---|

OBSERVACIONES:

CENIZA VOLANTE
 CAPA No. 27
 SECC. 1º.

FIGURA 58 HOJA DE CALCULO EN CAMPO

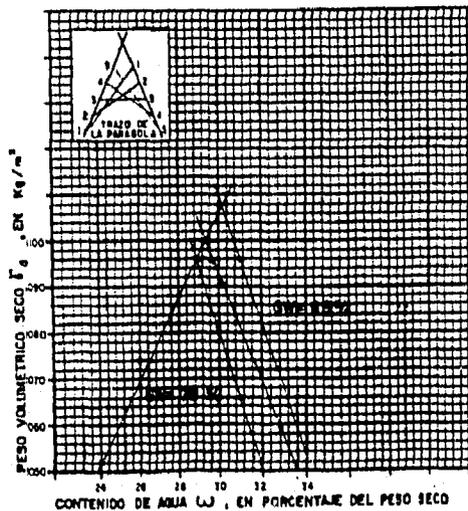
PRUEBA DE COMPACTACION

PROYECTO: APILADO PRUEBA No. _____ FECHA DE PRUEBA: 28 DE JUNIO 96
 BANCO O ESTRUCTURA: _____ OPERADOR: JUSTINO MARTINEZ
 SONDEO _____ MUESTRA No. _____ LOCALIZACION: ORIENTE CALCULO: JUAN MARTINEZ
 PROFUNDIDAD: 0.88 m DESCRIPCION DEL SUELO: CENIZA VOLANTE WIL ____ %, WIP ____ %
 DIAMETRO MOLDE No. 4 = 10.0 cm PESO DEL MARTILLO = 2.5 Kg No. DE CAPA = 3
 ALTURA MOLDE = 11.25 cm DIAMETRO DEL MARTILLO = 5.0 cm
 (1) VOLUMEN MOLDE = 0.949 cm² ALTURA DE CAIDA = 30.85 cm
 (2) TARA MOLDE = 3.226 Kg No. DE GOLPES/CAPA = 31
 CREADO POR MALLA No. 4 ENERGIA DE COMPACTACION _____ Kg-cm/cm³

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA

CAPSULA No.	TARA CAPSULA (4)	PESO SUELO		PESO AGUA SECO (6)	CONTENIDO DE AGUA W (8)	PESO SUELO		PESO SUELO SECO EN MOLDE (10)	PESO SUELO SECO EN MOLDE (11)	PESO SUELO SECO EN MOLDE (12)	PESO SUELO SECO EN MOLDE (13)
		HUMEDO (5)	SECO (15)			HUMEDO EN EL MOLDE (9)	SECO EN EL MOLDE (10)				
15	19.8	86.9	73.9	13.0	24.0	3.465	1.239	0.999	1.052		
3	20.0	85.5	72.0	13.5	26.0	3.510	1.284	1.019	1.074		
8	20.0	87.0	72.3	14.7	28.1	3.550	1.324	1.031	1.089		
7	19.6	87.5	71.8	15.7	30.1	3.573	1.347	1.035	1.091		
1	20.0	88.8	71.8	17.0	32.8	3.560	1.134	1.004	1.059		

DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO



PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO
 $\gamma_d \text{ max} = 1.096 \text{ kg/m}^3$
CONTENIDO DE AGUA OPTIMO
 $W_o = 29.4 \%$
DENSIDAD DE SOLIDOS
 $SUELO < \text{MALLA } 4, S_s = 1.85$
RELACION DE VACIOS
 $e_{\text{max}} = 1 - 0.688$
 γ_d
GRADO DE SATURACION
 $W_o S_s$
 $G_w = \dots \times 100 = 79.1 \%$
 e_o
PARA DIBUJAR LAS CURVAS DE SATURACION TOTAL Y PARCIAL
 γ_d
 $\gamma_d = \dots$ para $\gamma_w = 1 \text{ g/cm}^3$
 $S_s w + G_w$
 $(G_w \text{ expresado en forma decimal})$
PARA CADA PUNTO:
 PESO NECESARIO DE SUELO = W_c
 $W_c = W_s (1 - W_o/100)$ en gramos
 CANTIDAD DE AGUA PARA AGREGAR = W_w
 $W_w = W_s (W_c - W_o)/100$, en cm
 donde:
 W_s = peso suelo seco prefrado
 W_o = contenido de agua inicial, %
 W_c = contenido de agua de compactación %
 Aprox. 2.500 g < malla 4

FIGURA 59 PRUEBA DE COMPACTACION

3.8 OBRAS DE PROTECCION

La protección final de los terraplenes de ceniza, tanto en los taludes como en la corona, se debe efectuar bajo los siguientes lineamientos:

3.8.1 Protección de Taludes

Cuando el terraplén tenga un cierto espesor de ceniza en formación, se recubrirá su talud con una capa de material granular que servirá de filtro para evitar que el agua, que pudiera penetrar al cuerpo del terraplén, arrastre la ceniza hacia afuera del confinamiento. En seguida se cubrirá completamente esta capa de grava, con polietileno de un espesor adecuado. Una vez colocado el polietileno, encima de éste, se colocará material pétreo de protección que, al mismo tiempo que estabiliza el talud compuesto, protege al polietileno de los rayos ultravioleta. A las capas de polietileno, se les dejará una cierta longitud que servirá para anclarlo horizontalmente en el cuerpo del terraplén, mediante la colocación de las siguientes capas de ceniza y así sucesivamente. La colocación del polietileno a lo largo del talud, se hará como se colocan las tejas en un techo.

Las ventajas del uso de capas de polietileno en el talud son:

- a) El agua que pudiera quedar atrapada en el cuerpo del terraplén puede salir libremente a través de los taludes, sin peligro de que se arrastren finos que ocasionan erosión.
- b) Se impide el paso del agua de lluvia al cuerpo de terraplén.

Otro método para protección de taludes, consiste en colocar una capa de arcilla compactada y posteriormente una capa de tierra, para ahí sembrar pasto, plantas, yerbas, malezas, arbustos, árboles, etc., que son efectivos para controlar la erosión. El tipo de planta elegido, depende de la localidad, del suelo y de la estación; es necesario mantener húmedo mediante riego.

3.8.2 Protección de la Corona

Una vez agotada la capacidad del terraplén, con el fin de evitar su deterioro por lluvia, viento y algún otro elemento erosionante, la superficie final superior se cubrirá con una capa de material de baja permeabilidad que impida el paso del agua hacia la ceniza, dejando esta superficie con pendientes hacia los lados del terraplén. Encima del material de baja permeabilidad, se colocará una capa de material filtrante y, después de ésta, una capa de tierra vegetal para fomentar el crecimiento de la vegetación a fin de que, al mismo tiempo que se fija esta cubierta, se propicie la evapotranspiración que ayuda a que no haya aporte de agua al almacenamiento de ceniza que propicie su saturación y con ello la posible lixiviación.

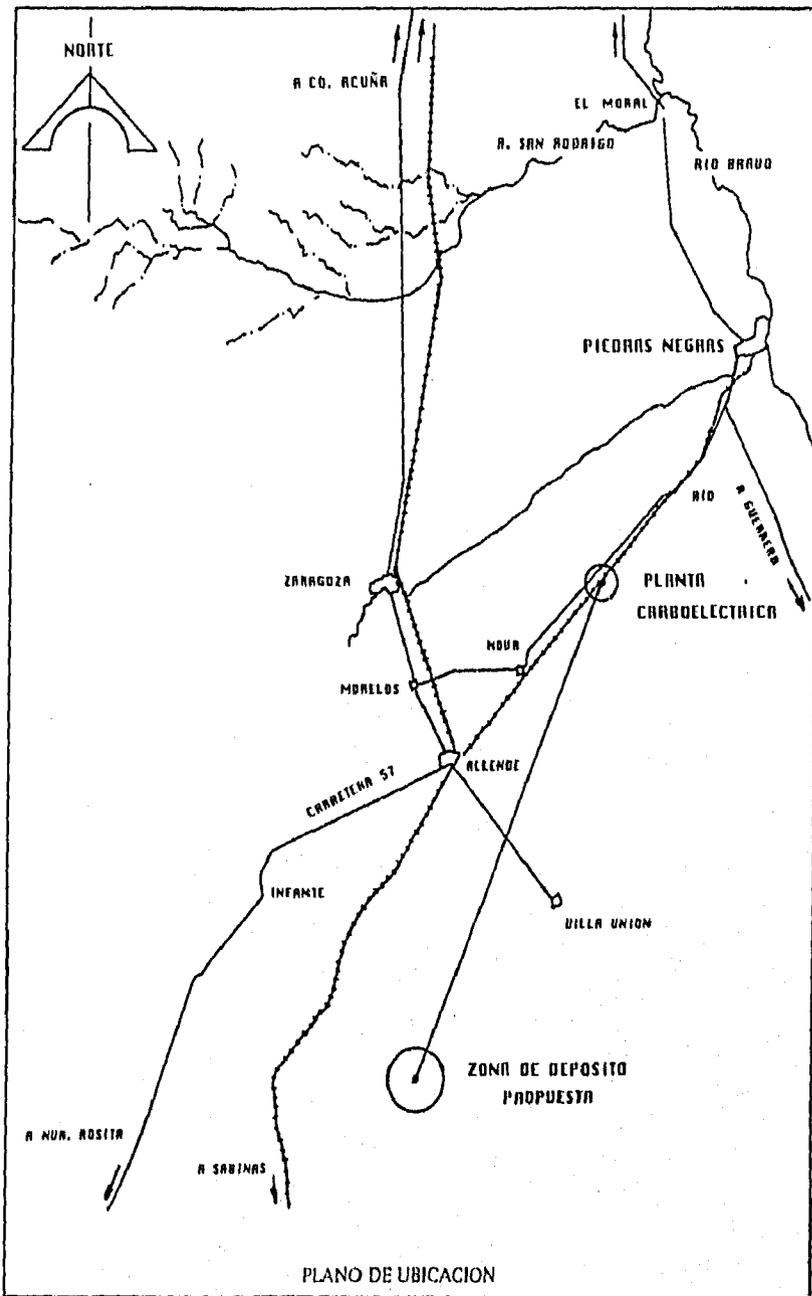
3.9 CONCEPTOS DE OBRA

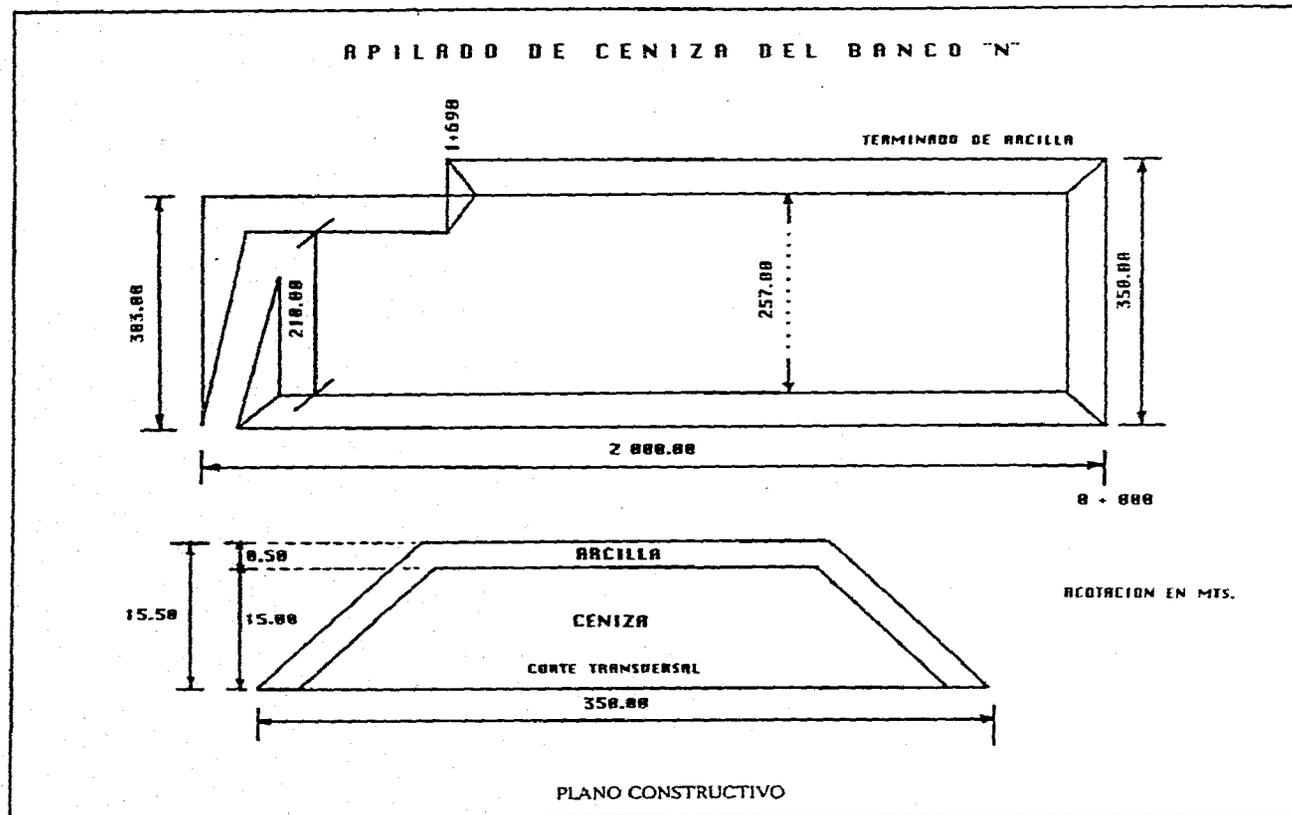
A continuación se muestra un ejemplo de la construcción de un terraplén, utilizando ceniza volante por medio de acomodo a volteo, los conceptos de obra son los siguientes.

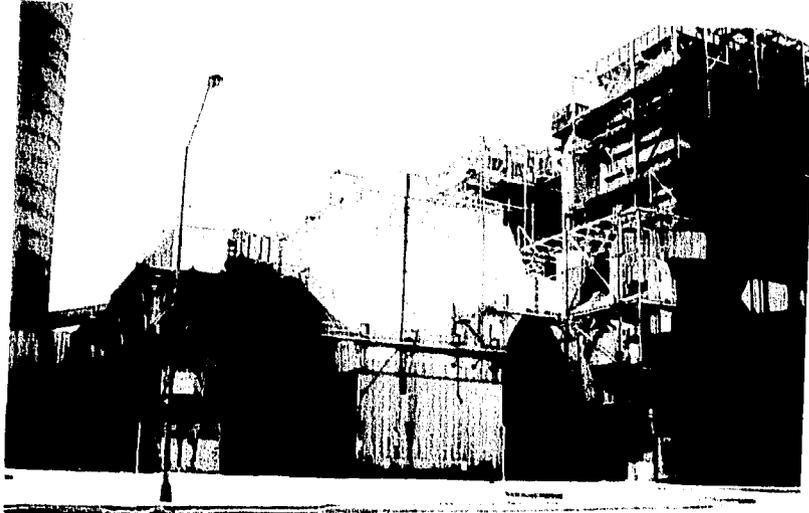
- a) Especificaciones generales.
- b) Requerimientos.
- c) Procedimiento constructivo.
- d) Obras complementarias.
- e) Catálogo de conceptos y cantidades de obra.

3.9.1 ESPECIFICACIONES GENERALES

Central Carboeléctrica que genera 1 387 000 ton de ceniza en un año, las cuales tienen que ser acomodadas en terraplén, de forma adecuada para cumplir con las normas de control ambiental. Ver planos de ubicación y constructivo.







CENTRAL CARBOELECTRICA

3.9.1.1 PARAMETROS DE PROYECTO

* Factor de abudamiento de ceniza volante	10 %
* Ceniza a manejar por año	1 387 000 ton
* Ceniza promedio diario	3 800 ton
* Ceniza volante	73.5 %
* Ceniza de fondo	26.5 %
* Porcentaje diario promedio en silos de concreto	65 %
* Porcentaje diario promedio en silos de transferencia primarios	10 %
* Porcentaje diario promedio en Hydrobins (tanques de almacenamiento)	25 %
* Distancia de silos de concreto al centro de gravedad del banco "N"	1.1 km
* Distancia de silos de transferencia primarios al centro de gravedad del banco "N"	2.8 km
* Distancia del banco de arcilla al centro de gravedad del banco "N"	4.4 km
* Peso específico de la ceniza seca	0.8 ton/m ³
* Velocidad promedio de los camiones	40 km/hr
* Capacidad del terraplén	8 954 250 m ³
* Duración estimada	5.7 años
* Total de arcilla	460 822 m ³

3.9.1.2 ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS DEL TERRAPLEN DE CENIZA

* Factor de abudamiento de arcilla	20 %
------------------------------------	------

* Altura del terraplén	15.00m
* Altura del terraplén incluyendo sellos	15.50m
* Taludes	3:1
* Espesor de arcilla en taludes (2 capas de 25 cm)	50 cm compactos
* Espesor de arcilla en corona (2 capas de 25 cm)	50 cm compactos
* Porcentaje de compactación para la arcilla (prueba Proctor estándar)	93 %

3.9.1.3 ASPECTOS GENERALES

El área designada para el terraplenado de ceniza, cuenta con los siguientes límites:

- * Al norte, se encuentra limitado por el rack de tuberías de conducción de ceniza volante, a silos de concreto.
- * Al sur, su límite lo establece el estanque de las aguas de drenaje pluvial de la zona poniente de la Central.
- * Al oriente, el límite es fijado por el canal colector de dichas aguas de drenaje pluvial.
- * Al poniente, está limitado por la cerca que delimita los predios de la Central Carboeléctrica "Carbón II" y la Central Carboeléctrica "Río Escondido".

Dentro de ésta localización, está el canal de drenaje de la Central Carboeléctrica "Carbón II", el cual deberá conservarse o reencauzarse.

3.9.1.4 DIMENSIONES

Para la formación del terraplén, se propone una base de 2 000 m de largo y 350 m³ de ancho, con una altura de 15 m, dentro de las cuales se confinarán 8 954 250 m³, teniendo una inclinación de taludes de 3:1.

3.9.1.5 TIEMPO DISPONIBLE PARA LA OPERACION

La operación de manejo y apilado de ceniza, deberá efectuarse durante 3 turnos por día, siete días a la semana, los 365 días del año; dicha operación, no se verá interrumpida por ninguna causa de fuerza mayor.

3.9.2 REQUERIMIENTOS

A continuación se mencionan los tipos de requerimientos.

3.9.2.1 REQUERIMIENTOS DE EQUIPO

Dentro de requerimientos de equipo se tiene:

3.9.2.1.1 EQUIPO DE ACCARREO DE CENIZA

Se requiere para el transporte de la ceniza, el uso de camiones fuera de carretera

de 50 toneladas de capacidad (International 350, Caterpillar 773 o similar), se recomienda con aumentos para mayor volumen y deberán contar con tapas que sellen herméticamente para evitar el derrame de ceniza en los caminos, durante el tránsito.

Se requiere además que haya una disponibilidad de operación, de 6 camiones fuera de carretera por turno. Si llegase a salir por falla mecánica o alguna otra causa uno o más camiones, tienen que sustituirse con igual número de unidades para cumplir con esta condicionante.

Estas unidades serán distribuidas conforme a las necesidades de operación por los supervisores de turno, encargados de los trabajos del banco "N".

3.9.2.1.2 EQUIPO DE ACARREO DE ARCILLA

Se deberán programar las unidades necesarias para el acarreo del volumen necesario de arcilla, para los sellos en corona y taludes, conforme el avance constructivo de la pila, esto, sin que se afecte la disponibilidad requerida para el acarreo de la ceniza.

3.9.2.1.3 EQUIPO DE EXTRACCION

Se requiere un tractor "D9" o similar para la extracción del material arcilloso requerido para las cubiertas protectoras, programado de tal manera para cumplir con los volúmenes programados.

3.9.2.1.4 EQUIPO DE EXTRACCION Y BANDEO

Se requiere la disponibilidad de 2 tractores "D9" o similar, en el banco, durante los 3 turnos para:

- a) El extendido de los montones de ceniza que son depositados en el banco.
- b) El bandeo de las capas de ceniza para dar una compactación por peso.
- c) El acomodo y bandeo de material arcilloso en taludes. En caso de falla o problemas de uno de los tractores, debe haber la capacidad para sustituirlo por otro en buenas condiciones.

3.9.2.1.5 EQUIPO DE CONFORMACION

Se requiere:

Una motoconformadora "CAT. 12-G" o similar para el tratamiento de homogeneización, tendido y afinado del material arcilloso, utilizado para protección del terraplén.

El requerimiento de esta unidad, es por un turno ó el equivalente para el concepto de material arcilloso.

3.9.2.1.6 EQUIPO DE COMPACTACION

Se necesita emplear un vibrocompresor de 12 ton para la compactación de arcilla para sellos, (CA-25 DYNAPAC o similar).

Se requiere la disponibilidad de esta unidad o el equivalente para el concepto de compactación de material arcilloso.

3.9.2.1.7 EQUIPO DE RIEGO

Para la incorporación de agua en el riego de liga del material arcilloso, es necesario contar con una pipa de agua (25 m³).

Dicho equipo deberá de mantener los caminos libres de polvo en el trayecto de los camiones.

Asimismo, deberá de considerarse que la homogeneización de la arcilla, se hará en el banco de explotación y después transportarla al sitio.

3.9.2.2 REQUERIMIENTOS HUMANOS

Para las actividades de la operación y mantenimiento del proyecto de manejo y apilado de ceniza, se requiere personal, lo suficientemente capacitado de acuerdo a las actividades a realizar, en las diferentes áreas que intervienen en el proyecto.

3.9.2.2.1 OPERACION

Se contará con la cantidad de operadores para satisfacer los requerimientos mínimos de equipo, y en caso de ausentismo, se cubrirá esa falta de personal para evitar desviaciones al proyecto establecido.

En la operación de los silos, se contará con 2 tolveros por turno para la operación de los silos de concreto.

Para la limpieza de los silos de concreto, se contará con una cuadrilla de 8 peones en dos turnos (1º y 2º), considerando que se trabajará en jornadas de 48 hrs por semana únicamente en esta actividad.

Asimismo se contará, con regadores para el proceso de incorporación de agua a la ceniza en el banco, para evitar que ésta, se seque y mantenerla húmeda toda el área expuesta.

Utilizando como mínimo 3 mangueras de presión y 3 regadores por manguera, c/turno.

Estas cantidades de personal propuestas, son mínimas, más no limitativas.

Además, se tomará en cuenta el personal siguiente:

- * Personal para carga de equipo de riego.
- * Cuadrilla de topografía para verificación de niveles y espesores.
- * Personal necesario para control y supervisión de los trabajos.
- * Todo el personal laborará de acuerdo a lo especificado en el punto (3.9.1.5).

3.9.2.2.2 MANTENIMIENTO

Se tendrá el personal suficiente para dar un rápido mantenimiento y servicios a los equipos mecánicos que intervienen en la operación.

3.9.2.3 REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA

Para el desarrollo de los trabajos, se contará con la infraestructura necesaria para proporcionar los servicios.

En el lugar de la obra se deberá contar con:

- a) Una caseta para el personal de supervisión de los trabajos.
- b) Instalaciones sanitarias para el personal.
- c) Infraestructura (garza para el llenado del equipo de riego).
- d) Sistema de conducción del agua necesaria para el riego de ceniza en el terraplén, utilizando para esto, tubería de 8" de diámetro, con mangueras de presión de 2" de diámetro, con válvula y que sean móviles de acuerdo al avance constructivo del terraplén o pila.

También se contará con:

- a) Taller mecánico para el mantenimiento y servicio del equipo de operación.
- b) Areas para lavado de equipo.
- c) Almacén de herramienta, materiales y refacciones.
- d) Oficinas técnico-administrativas.

La infraestructura deberá estar lista 15 días antes de que se inicien las actividades de apilado de ceniza.

3.9.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

A continuación se menciona el procedimiento constructivo.

3.9.3.1 TRANSPORTE DE LA CENIZA

El acarreo de la ceniza, se realizará con camiones fuera de carretera de 50 toneladas de capacidad, los cuales deberán contar con aumentos y un sistema de sellado de las tapas para evitar al máximo el derramamiento de ceniza en los caminos.

Las rutas para la ceniza volante serán:

- a) De silos de transferencia primario, por el camino que lleva a silos de concreto, se tiene un kilometraje aproximado al centro de gravedad del banco "N" de 2.8 km aprox.
- b) De silos de concreto al centro de gravedad del banco "N", se tienen 1.1 km aprox.

Para la ceniza de fondo:

- a) De hydrobins, tomando el camino que lleva a silos de concreto, se tiene un kilometraje aproximado al centro de gravedad de 2.8 km aprox.

Se considera que la producción total de ceniza, el 65 % proviene de los silos de concreto, 10 % de silos de transferencia primaria y 25 % de hydrobins.

3.9.3.2 EXTRACCION Y TRANSPORTE DE ARCILLA

Para el manejo de arcilla, la cual servirá de recubrimiento a la ceniza, se hará la extracción del material de un banco, localizado a 4.4 km del centro de gravedad del banco "N" y se cargará a camiones fuera de carretera para su transporte.

3.9.3.3 FORMACION DE LA PILA DE CENIZA

a) Desplante de la pila:

Se desplantará la pila en una base de arcilla ya existente, de la cual se retirará la maleza y se compensará con una capa de arcilla de relleno para darle la pendiente de drenaje y nivelación del desplante de la pila, dichos trabajos consistirán en la incorporación de agua para su homogeneización, extendido, compactación al 93 % Proctor estándar.

b) Acomodo de la ceniza:

Para el primer módulo de la pila, el ancho será de 100 m por 350 m de largo, con una rampa de acceso de 15 m de ancho y una pendiente del 5.5 %; y para los módulos subsecuentes, el ancho será de 50 m.

Para la construcción del primer módulo, la ceniza se irá depositando en capas de aproximadamente 60 cm y bandeado con la formación de la rampa de acceso y taludes, hasta llegar a la altura del proyecto.

Al descargar la ceniza, los camiones fuera de carretera en la orilla del bordo y a lo ancho de la pila, ésta es empujada de la parte superior de la corona, hacia el pie del talud, en capas formando una rampa, la cual se bandeará con las orugas del tractor; el bandeado en la parte superior del apilado, será lo suficiente para que por ésta, transiten los camiones u otros equipos neumáticos que se requieran.

A medida que se va avanzando con el apilado, se van formando los taludes laterales de acuerdo al proyecto con pendientes 3:1 para poder recibir la capa protectora de arcilla.

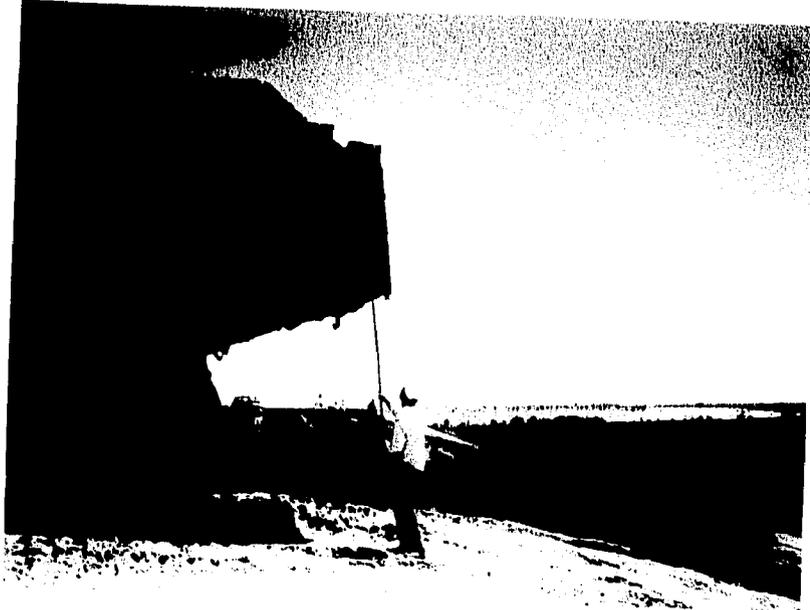
Deberá mantenerse durante los tres turnos, el sistema de riego con mangueras para humedecer en el bandejo y evitar que se levante la ceniza al estar seca y expuesta (sin protección de arcilla).

c) Sello de arcilla en corona y taludes:

Este sello protector, consiste en la incorporación de agua para su homogeneización, extendido, compactación al 93 % Proctor, nivelación y afine en dos capas de 25 cm cada una para un total de 50 cm, los taludes tendrán pendiente de 3:1. Y la corona tendrá una pendiente del 0.2 % al oriente.



CAMIONES FUERA DE CARRETERA TRANSPORTANDO LA CENIZA



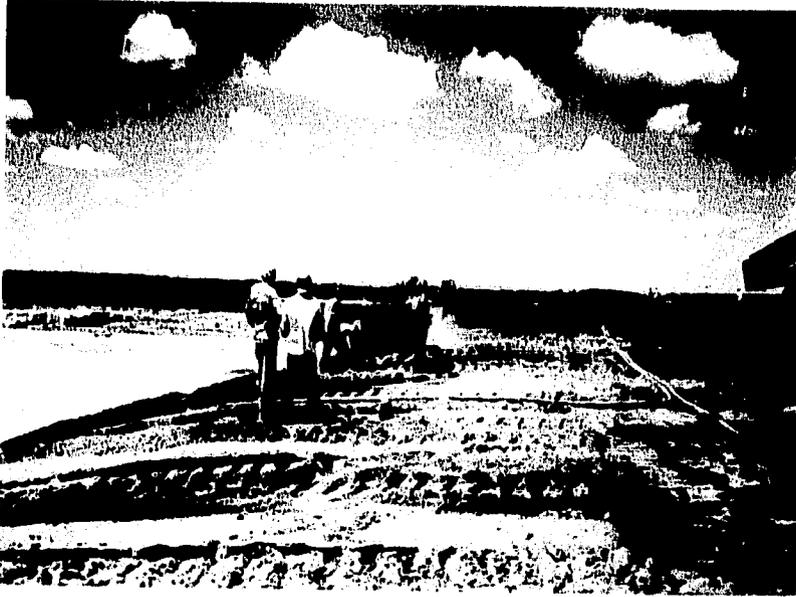
DESCARGA DE CENIZA EN EL TERRAPLEN



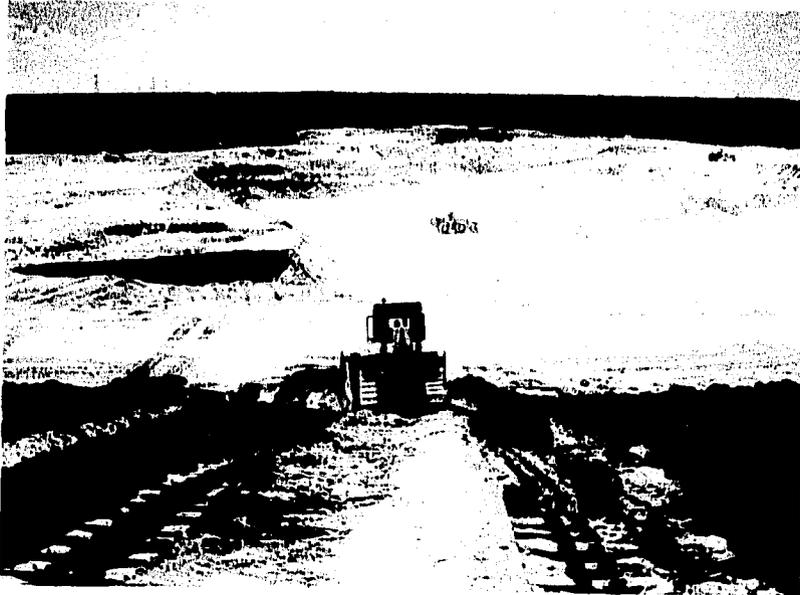
EXTENDIDO Y BANDEO DE LA CENIZA



FORMACION DEL TALUD DEL TERRAPLEN



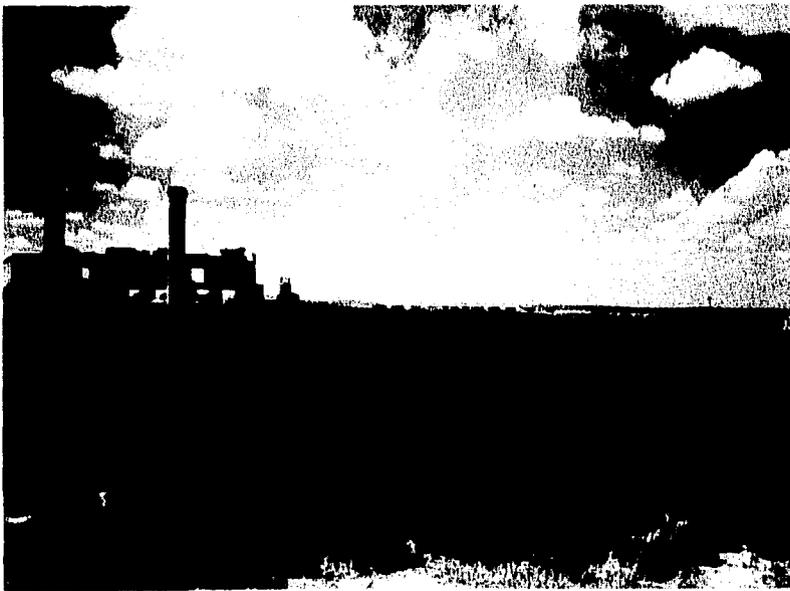
PERSONAL REGANDO CON AGUA LA CENIZA



BANDEO DE LA CENIZA Y VISTA DEL BANCO DE ARCILLA



COMPACTACION DE LA ARCILLA EN CORONA Y TALUDES



REFORESTACION EN LA OBRA TERMINADA

3.9.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS

A continuación se mencionan las obras complementarias, que incluyen el drenaje, la conservación de pozos de abastecimiento de agua y la descripción de los trabajos en la reforestación del apilado de la ceniza.

3.9.4.1 DRENAJE

El drenaje, incluye lavaderos y lloraderos.

3.9.4.1.1 LAVADEROS

Para drenar el agua de lluvia que se capte en la parte superior de la pila, se construirán lavaderos de concreto cada dos secciones (100 m); para que estas obras funcionen como es debido, es necesario crear los parteaguas que confluyan en cada lavadero, dándole una pendiente de 0.2 %.

Además de que en la dirección poniente-orienté tendrá una pendiente la corona de 0.2 %.

3.9.4.1.2 LLORADEROS

Estos se construirán a cada 25 m, para auxiliar a la pendiente de 0.2 % que se le dió al terraplén de desplante y poder drenar el agua confinada dentro de la pila.

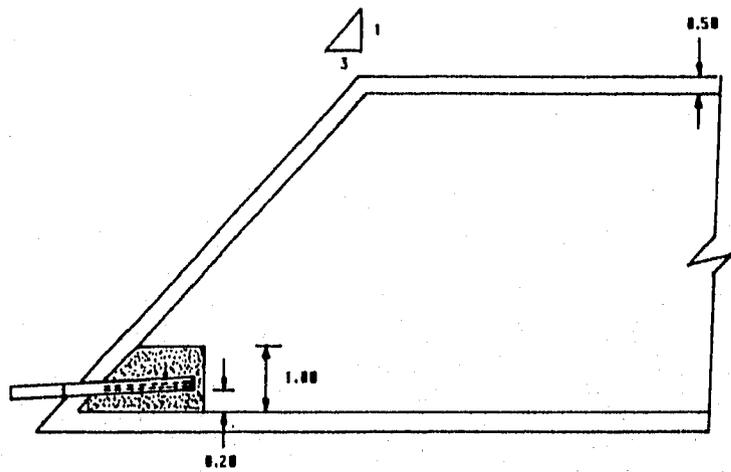
Para su construcción, se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Excavar a partir de la capa de sello, base de arcilla en 3.60 m de profundidad, 0.90 m de ancho y 1.0 m de altura, retirando la arcilla del talud y la ceniza resultante.
- 2) Colocar una cama de piedra bola graduada de 3" a 6" de diámetro, de espesor de 0.20 m.
- 3) Mientras tanto, unir un tubo ranurado de 12" de diámetro y longitud de 2.0 m, a un tubo de acero de 12", 10" y 8" de diámetro, de longitud, biselados ambos con soldadura 70/18.
- 4) Colocar el tubo ya soldado sobre la cama de piedra bola, quedando la soldadura en la junta de ceniza y arcilla.
- 5) Rellenar con piedra bola el volumen correspondiente a la ceniza, procurando ocupar todos los espacios para el correcto funcionamiento del filtro.
- 6) Formar el correspondiente talud protector de arcilla, respetando las especificaciones marcadas en el proyecto para la cubierta protectora de arcilla.

Los lloraderos serán distribuidos de la siguiente manera:

En el talud oriente se colocarán a una distancia de 25 m cada uno, en el talud poniente se colocarán en los puntos donde el agua muestre tendencia natural a salir, ver figura 60.

CONSTRUCCION DE LLORADEROS EN TALUDES DE PILA DE CENIZA



ACOTACION EN MTS.

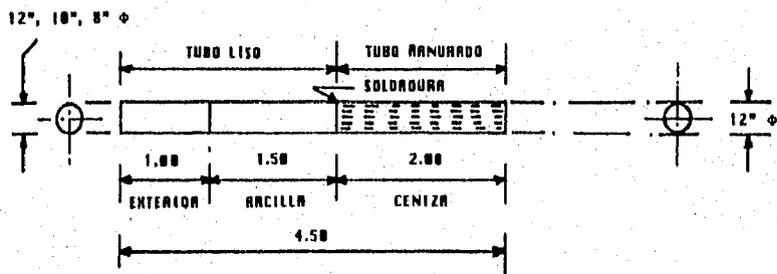


FIGURA 60 LLORADEROS

3.9.4.2 CONSERVACION DE POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Los pozos que se encuentren dentro del área del banco "N", se respetarán hasta la altura de la pila, fabricándose un cabezal de concreto para su protección y señalándolo.

Todas estas obras, deberán de construirse inmediatamente que terminen las etapas del sellado de arcilla.

3.9.4.3 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS QUE SE INCLUYEN EN LA REFORESTACION DEL APILADO DE LA CENIZA

- a) Colocación de una capa de tierra vegetal de 15 cm de espesor.
- b) Suministro y aplicación de catalizadores para ayudar a la semilla a germinar y enraizar.
- c) Suministro y siembra de pasto de semilla.
- d) Manejo de áreas con el establecimiento de riego por aspersión corta, con chapoleadora y segunda aplicación de fertilizante.

Todas estas obras, deberán construirse inmediatamente que terminen las etapas del sellado de arcilla.

3.9.5 CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA

<u>Nº.</u>	<u>CONCEPTO DESCRIPCION</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>UNIDAD</u>
01	TARZO Y NIVELACION DEL TERRENO.	137.7	HA
02	EXTRACCION, CARGA, HUMEIDIFICACION HOMOGENEIZACION, TENDIDO, COMPACTACION DE ARCILLA EN CORONA, TALUDES Y SELLO INTERIOR.	460 822	3 M
03	ACARREO DE ARCILLA.	2 027 617	3 M /KM
04	ACARREO DE CENIZA EN CAMION AL BANCO "N": A) DE SILOS DE TRANSFERENCIA PRIMARIOS E HYDROBINS (TANQUES DE ALMACENAMIENTO).	3 133 987	3 M
	B) DE SILOS DE CONCRETO.	5 828 263	3 M
05	TENDIDO Y BANDEO DE CENIZA CON TRANSITO DE EQUIPO PARA EL PASO DE CAMIONES, INCLUYE RIEGO.	8 954 250	3 M
06	REFORESTACION CONSISTENTE EN CAPA DE TIERRA VEGETAL DE 15 CM, SEMBRADO DE PASTO, RIEGO Y PRIMER CORTE.	69.3	HA
07	LIMPIEZA DE SILOS Y AREAS ADYACENTES.	1 456	JOR
08	CONCRETO EN LAJADEROS.	681.1	3 M
09	CIMARRA DE LAJADEROS.	532	2 M
10	ACERO DE REFUERZO EN LAJADEROS.	5.2	TON

11	EXCAVACION PARA LADREROS EN FORMA MANUAL.	1 197	3 M
12	MANTENIMIENTO DE CAMINOS.	14 979.6	KM/DIA
13	CONCRETO EN ALCANTARILLAS.	35	3 M
14	CIMBRA DE ALCANTARILLAS.	05	2 M
15	ACERO DE REFUEZO EN ALCANTARILLAS.	5.7	TON
16	EXCAVACION EN ALCANTARILLAS.	30	3 M
17	OPERACION EN SILOS.	2 001	JOR
18	REGADORES EN BANCO DE CENIZA.	2 001	JOR
19	CONSTRUCCION DE CAMINO DE SERVICIO DE 15 MTS DE ANCHO Y ESPESOR PROMEDIO DE 50 CM CON REVESTIMIENTO DE BASE.	33 000	3 M
20	COLOCACION DE LADREROS A BASE DE TUBERIA DE 12" Ø LISA Y ANUERA S/DIBUJO, INCLUYE TENDIDO TUBO, GRAVA, EXCAVACION, RELLENO, MATERIAL Y MANO DE OBRA.	133	PZ

CONCLUSIONES

En la actualidad, la industria de generación de energía eléctrica, juega un papel importante en la satisfacción de las demandas de la sociedad.

La única forma comercial para generar electricidad a escala industrial en nuestros días, sigue siendo la de hacer girar un generador eléctrico, la fuerza motriz necesaria para hacer girar este generador, depende del tipo de Central generadora de electricidad. Una Central Termoelectrica, funciona a base de diferentes combustibles como petróleo y sus derivados, gas natural, el carbón, etc.

La mayor parte de las opiniones, convergen en la necesidad que se tiene de diversificar los energéticos que se utilizan para la generación de la energía eléctrica y no depender tanto de los hidrocarburos, como se realiza hasta ahora.

México cuenta con una amplia diversidad de recursos renovables, suficientes para formular un plan estratégico que le permita a futuro, satisfacer sus necesidades, sin depender de los hidrocarburos; un plan nacional de energía compatible con la naturaleza que en un plazo no muy largo, entraría en vigor, toda vez que se vislumbra un horizonte finito y no muy lejano de nuestras reservas de petróleo.

Es por eso que las Centrales Carboeléctricas, contribuyen de una manera importante y valiosa a estos planes estratégicos.

Si bien es cierto que las Centrales Carboeléctricas, en combinación con laboratorios de la Comisión Federal de Electricidad y empresas mineras, han hecho estudios para darle utilización práctica a la ceniza volante, producto de la combustión del carbón, también es importante considerar que en la actualidad, mientras avanzan esos estudios, en las Centrales, se tiene el problema latente de acomodar la ceniza de una manera efectiva, es por esto que debe de existir una guía adecuada para la construcción de terraplenes y rellenos, utilizando la ceniza volante.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- **INFORME GEOLOGICO DE LA CUENCA FUENTES-RIO ESCONDIDO,
COAHUILA, MEXICO, D.F. 1987.**
- 2.- **MECANICA DE SUELOS TOMOS I Y II**
Eulalio Juárez Badillo
Alfonso Rico Rodriguez
Editorial Limusa
Segunda edición
México 1992
- 3.- **MECANICA DE SUELOS**
Lambe T. William
Editorial Limusa
Novena edición
México 1990
- 4.- **CATALOGO DE COSTOS HORARIOS DE MAQUINARIA**
Cámara Nacional de la Industria de la Construcción
México 1996
- 5.- **RESEÑA SOBRE LA EVOLUCION HISTORICA DE LAS RESERVAS DE
CARBON EN MEXICO**
Castañeda Pérez Miguel
Facultad de Ingeniería
Primera edición
México 1987
- 6.- **COSTOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION EN LAS VIAS
TERRESTRES**
Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas

- 7.- **TRANSPORTE, MANEJO Y APILADO DE CENIZA DE LA C.T. RIO ESCONDIDO**
Comisión Federal de Electricidad
- 8.- **NORMAS PARA CONSTRUCCION, INSTALACIONES Y TERRACERIAS**
S.C.T.3.01.01
- 9.- **MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCION**
Aburto Valdés Rafael
U.N.A.M.
México 1990
- 10.- **MOVIMIENTO DE TIERRAS**
Aburto Valdés Rafael
U.N.A.M.
México 1990
- 11.- **ESPECIFICACIONES PARA EL APILADO DE CENIZA C.T. CARDON II**
Comisión Federal de Electricidad
- 12.- **SITIOS DE DISPOSICION DE CENIZA C.T. PETACALCO**
Comisión Federal de Electricidad
México 1994
- 13.- **MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES**
Crespo Villalaz Carlos
Editorial Limusa
Cuarta edición
México 1990